

UB Braunschweig

84



2651-5841

**Braunschweigische
Wissenschaftliche Gesellschaft**

Jahrbuch 1985

Herausgegeben von
Hans-Joachim Kanold

VERLAG ERICH GOLTZE GMBH & CO. KG · GÖTTINGEN
1985

Das vorliegende Jahrbuch ist beim Verlag und beim Buchhandel erhältlich.
Preis DM 20,—

Gedruckt mit Hilfe von Forschungsmitteln
des Landes Niedersachsen

BWG 3300 Braunschweig
Fallersleber-Tor-Wall 16, Postfach 3329, Telefon (05 31) 391–4596



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK

ISBN 3-88452-218-3

Alle Rechte vorbehalten von
Verlag Erich Goltze GmbH & Co. KG, 3400 Göttingen
1985

Gesamtherstellung: Erich Goltze GmbH & Co. KG, 3400 Göttingen

Printed in the Federal Republic of Germany

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Zur Geschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft (BWG)	7
Satzung der BWG	9
Plenarversammlungen	13
Klassensitzungen	61
Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte	83
Öffentliche Veranstaltungen	85
Feierliche Jahresversammlung 1985	121
Veröffentlichungen	143
Geschäftliche Mitteilungen	143
Nachrufe	145
Personalia	148
Zuwahlen	149
Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille	157
Mitgliederverzeichnis	161

Zur Geschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Im Jahre 1943 führten die Initiativen einiger Professoren der Braunschweiger Technischen Hochschule Carolus Wilhelmina zur Errichtung der „Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft“, die – nachdem die vorgelegte Satzung von dem damals zuständigen Reichsminister für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung genehmigt worden war – am 9. Dezember 1943 mit einer feierlichen Sitzung eröffnet wurde. Das zu diesem Anlaß von dem ersten Vorsitzenden des Senats der neuen Gesellschaft, Prof. Dr.-Ing. Ernst Schmidt, erstattete Referat gibt Auskunft über die zu dieser Gründung führenden Motive. Maßgebend war bei ihnen der Wunsch nach Überwindung eines allzu engen wissenschaftlichen Spezialistentums und einer einseitigen Orientierung der Forschung auf rasche Verwertbarkeit ihrer Ergebnisse. Dies wird auch in der ersten Satzung der Gesellschaft deutlich. In deren § 1 bestimmt sie, „insbesondere soll sie über die fachlichen Grenzen hinaus die Bearbeitung von Gemeinschaftsaufgaben übernehmen und dazu beitragen, innere Beziehungen zwischen allen Wissens- und Lebensgebieten herzustellen“. Organisatorisch war die Neugründung als eine selbständige wissenschaftliche Gesellschaft mit eigenen Organen (Kuratorium, Senat, Fachbereiche) angelegt, jedoch war der jeweilige Rektor der Technischen Hochschule Braunschweig ex officio zum Präsidenten der Gesellschaft bestimmt, was aber wohl hauptsächlich auf eine administrative Vereinfachung abzielte.

Bis Ende 1944 wurde die Gesellschaft sodann durch die Berufung von Mitgliedern aus verschiedenen Fachgebieten personell ausgebaut, sie konnte in den letzten Monaten des zweiten Weltkrieges besondere Aktivitäten nicht mehr entfalten. Sie bestand indessen auch nach dem Kriege unter einem kommissarischen Präsidenten unverändert fort, jedoch wurden alsbald auch Maßnahmen eingeleitet, um die Gesellschaft uneingeschränkt zu verselbständigen, wobei von vornherein die Organisationsform einer Akademie der Wissenschaften angestrebt wurde, die im Kern durch Selbstergänzung, begrenzte Platzzahl und Gliederung in Fachbereiche ja bereits vorhanden war.

Vor allem wurde die Gesellschaft nun auch mit ihrem Plenum und ihren Abteilungen wissenschaftlich aktiv. In beiden Bereichen wurden wissenschaftliche Vorträge und Diskussionen durchgeführt, und 1949 erschien der erste Band der als Publikationsorgan eingerichteten „Abhandlungen“. Und im gleichen Jahre wurde von ihr erstmalig die kurz zuvor gestiftete Carl-Friedrich-Gauß-Medaille verliehen. 1953 wurde der Gesellschaft schließlich der Status einer Körperschaft des öffentlichen Rechts verliehen und ihr mit dem Errichtungserlaß des Niedersächsischen Landesministeriums zugleich eine neue Satzung gegeben, in der freilich noch Teile der ehemaligen Satzung erhalten geblieben waren. Erst 1971 erhielt die Gesellschaft ihre heute gültige Satzung, die sie im Geiste einer Akademie der Wissenschaften mit deutlich technischem Schwer-

punkt auszufüllen bestrebt ist. In diesem Rahmen finden laufend wissenschaftliche Plenar- und Klassensitzungen statt, und eine Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte hat eine auf Dauer angelegte Forschungstätigkeit aufgenommen. Bisher sind 37 Bände der „Abhandlungen“ sowie als Vorläufer dieses Jahrbuches 15 Hefte und 6 Sonderhefte der „Sitzungsberichte und Mitteilungen“ publiziert worden. Die Carl-Friedrich-Gauß-Medaille wurde bisher 39 mal an hervorragende Gelehrte des In- und Auslandes verliehen.

Satzung

§ 1

Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft hat durch eigene Tätigkeit und im Zusammenwirken mit anderen Gesellschaften der Wissenschaft zu dienen.

§ 2

Die Gesellschaft ist eine Körperschaft des öffentlichen Rechts. Ihr Sitz ist Braunschweig. Sie führt ein Dienstsiegel.

§ 3

Die Gesellschaft hat vier Klassen:

- die Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik,
- die Klasse für Ingenieurwissenschaften,
- die Klasse für Bauwissenschaften,
- die Klasse für Geisteswissenschaften.

§ 4

(1) Die Gesellschaft besteht aus Ordentlichen und Korrespondierenden Mitgliedern.

(2) Ordentliche Mitglieder können verdienstvolle Gelehrte werden, die ihren Wohnsitz in Niedersachsen haben. Sie sind zur regelmäßigen Teilnahme an den Sitzungen des Plenums und ihrer Klassen sowie zur Förderung der wissenschaftlichen Arbeiten verpflichtet und gehalten, zu den Publikationen der Gesellschaft beizutragen. Ordentliche Mitglieder, die das 70. Lebensjahr vollendet haben, werden von den Pflichten entbunden, behalten jedoch ihre Rechte bei. Die Höchstzahl der Ordentlichen Mitglieder beträgt:

- 30 für die Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik,
- 30 für die Klasse für Ingenieurwissenschaften,
- 30 für die Klasse für Bauwissenschaften,
- 20 für die Klasse für Geisteswissenschaften.

Hierin werden die Ordentlichen Mitglieder, die das 70. Lebensjahr vollendet haben, nicht eingerechnet.

(3) Zu Korrespondierenden Mitgliedern können, ohne Rücksicht auf ihren Wohnsitz, verdienstvolle Gelehrte berufen werden, denen eine regelmäßige persönliche Teilnahme an den Sitzungen und Arbeiten der Gesellschaft nicht möglich ist. Sie können an allen Sitzungen teilnehmen, haben aber kein Stimmrecht. Die Zahl der Korrespondierenden Mitglieder ist nicht beschränkt.

(4) Ordentliche Mitglieder, die ihren Verpflichtungen nicht nachzukommen vermögen, können die Überführung in den Status eines Korrespondierenden Mitglieds beantragen. Von Ordentlichen Mitgliedern, die ohne gerechtfertigten Grund vier aufeinanderfolgenden Sitzungen des Plenums oder ihrer Klasse ferngeblieben sind, muß angenommen werden, daß sie ihren Verpflichtungen nicht mehr nachzukommen vermögen. Auf Vorschlag ihrer Klasse kann durch den Verwaltungsausschuß die Mitgliedschaft in die eines Korrespondierenden Mitgliedes umgewandelt werden.

§ 5

(1) Die Mitglieder werden auf Vorschlag von mindestens drei Ordentlichen Mitgliedern und nach Antrag der zuständigen Klasse durch das Plenum in geheimer Abstimmung gewählt.

(2) Auf die Mitgliedschaft kann durch schriftliche Erklärung gegenüber dem Präsidenten verzichtet werden.

(3) Ein Mitglied kann wegen ehrenrührigen Verhaltens ausgeschlossen werden. Für das Verfahren gelten die Vorschriften über die Wahl.

§ 6

(1) Im Plenum und in den Klassen berichten die Mitglieder über eigene Arbeiten und die ihrer Mitarbeiter, die Ordentlichen Mitglieder auch über Arbeiten anderer. Der Vorsitzende kann zum wissenschaftlichen Teil der ordentlichen Sitzungen Gäste, die von einem Ordentlichen Mitglied eingeführt sind, einladen.

(2) Das Plenum hält in jedem Jahr mindestens eine Hauptsitzung ab. Es hört und erörtert Rechenschaftsberichte. Zu den Hauptsitzungen sind auch die Korrespondierenden Mitglieder einzuladen.

§ 7

Um der Öffentlichkeit Einblick in wissenschaftliche Probleme zu geben und sie mit den Ergebnissen wissenschaftlicher Arbeit bekanntzumachen, veranstaltet die Gesellschaft öffentliche Vorträge.

§ 8

Die Gesellschaft gibt die „Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft“ heraus. Einzelheiten regelt die Druckschriftenordnung.

§ 9

Die Gesellschaft verleiht in der Regel jährlich zum Geburtstag von Carl Friedrich Gauß am 30. April die „Carl-Friedrich-Gauß-Medaille“. Das Verfahren regeln die besonderen Bestimmungen für die Verleihung der Gauß-Medaille.

§ 10

(1) Die Leitung der Gesellschaft obliegt dem Präsidenten. Er beruft die Sitzungen des Plenums ein, stellt die Tagesordnung fest, leitet die Verhandlungen, hat bei allen mündlichen Abstimmungen für den Fall der Stimmengleichheit die entscheidende Stimme, führt den Vorsitz in allen Ausschüssen – soweit nicht andere Regelungen getroffen sind –, unterzeichnet die Sitzungsprotokolle und sorgt für die Ausführung der Beschlüsse. Er vertritt die Gesellschaft nach außen und hat die Aufsicht über die Geschäftsführung im Benehmen mit den Klassenvorsitzenden.

(2) Der Präsident wird aus dem Kreis der Ordentlichen Mitglieder durch das Plenum in geheimer Abstimmung für die Amtsdauer von drei Jahren gewählt. Ersatzwahlen erfolgen für den Rest der Amtsdauer, Wiederwahl ist zulässig.

(3) Die Stellvertretung des Präsidenten übernimmt als Vizepräsident der turnusmäßige älteste Klassenvorsitzende.

§ 11

(1) Die Leitung der Klassen obliegen den Klassenvorsitzenden; § 10 Abs. 1 Satz 2 gilt entsprechend.

(2) Die Ordentlichen Mitglieder jeder Klasse wählen aus ihrem Kreis in geheimer Abstimmung den Klassenvorsitzenden so, daß jedes Jahr einer der Klassenvorsitzenden ausscheidet. Ersatzwahlen erfolgen für den Rest der Amtsdauer, Wiederwahl ist zulässig.

(3) Die Klassenvorsitzenden betrauen mit ihrer Vertretung von Fall zu Fall ein Ordentliches Mitglied der Klasse.

§ 12

(1) Dem Generalsekretär obliegen die Geschäftsführung, die Veranstaltung öffentlicher Vorträge und die Herausgabe der Abhandlungen der Gesellschaft.

(2) Der Generalsekretär muß seinen Wohnsitz in Braunschweig oder im näheren Umkreis von Braunschweig haben. Er wird aus dem Kreis der Ordentlichen Mitglieder durch das Plenum in geheimer Abstimmung für die Amtsdauer von drei Jahren gewählt. Ersatzwahlen erfolgen für den Rest der Amtsdauer, Wiederwahl ist zulässig. In dem Jahr, in dem der Präsident neu gewählt wird, soll ein Wechsel im Amt des Generalsekretärs nicht stattfinden.

§ 13

Der Präsident, die Klassenvorsitzenden und der Generalsekretär bilden den Verwaltungsausschuß. Dieser hat die Aufgabe, über Arbeitsvorhaben und Arbeitsweise der Gesellschaft zu beschließen, den Haushaltsplan aufzustellen und über Inventar und Vermögen der Gesellschaft im Rahmen der Beschlußfassung des Plenums zu verfügen. Der Präsident kann zu Beratungen des Verwaltungsausschusses Mitglieder der Gesellschaft und andere Persönlichkeiten, deren Teilnahme im Interesse der Gesellschaft liegt, hinzuziehen.

§ 14

- (1) Der Haushaltsplan ist vor Beginn des Haushaltsjahres (Kalenderjahr) aufzustellen und vom Plenum zu beschließen.
- (2) Überschüsse früherer Jahre verbleiben der Gesellschaft; sie sind im Haushaltsplan auszuweisen.
- (3) Die Jahresrechnung und die ordnungsgemäße Verwendung der Mittel durch die Gesellschaft unterliegen der Prüfung durch den Landesrechnungshof oder das von ihm beauftragte Rechnungsamt. Als dann hat das Plenum über die Entlastung des Verwaltungsausschusses zu beschließen.

§ 15

Das Plenum beschließt ferner über die Geschäftsordnung, Druckschriftenordnung, Bestimmungen über die Verleihung der Gauß-Medaille und über Änderungen dieser Satzung.

§ 16

- (1) Zu Wahlen und Beschlußfassungen gem. § 14 Abs. 1 und 3 und § 15 muß mindestens die Hälfte der Anzahl der Ordentlichen Mitglieder unter 70 Jahren anwesend sein.
- (2) Die Wahlen und die Beschlüsse über Satzungsänderungen erfordern eine Stimmenmehrheit von zwei Dritteln aller anwesenden stimmberechtigten Mitglieder. Führt bei der Wahl des Präsidenten und des Generalsekretärs der erste Wahlgang zu keiner Zweidrittelmehrheit, so findet sofort ein zweiter Wahlgang statt. Wird auch hierbei die Zweidrittelmehrheit nicht erzielt, so ist in einem dritten Wahlgang gewählt, wer die absolute Mehrheit erreicht. Notfalls ist eine Stichwahl durchzuführen. Bei Stimmengleichheit entscheidet das Los.
- (3) Bei den übrigen Beschlußfassungen und sonstigen Abstimmungen entscheidet die einfache Mehrheit der stimmberechtigten Anwesenden.
- (4) Ordentliche Mitglieder können ihr Stimmrecht durch schriftliche Vollmacht auf ein anderes Ordentliches Mitglied übertragen; in diesem Fall gelten sie als anwesend.

§ 17

- (1) Die Wahl des Präsidenten und des Generalsekretärs bedarf der Bestätigung durch die Landesregierung.
- (2) Der Haushaltsplan und Änderungen dieser Satzung bedürfen der Genehmigung durch die Landesregierung.
- (3) Das Ergebnis der Wahlen der Ordentlichen Mitglieder und der Klassenvorsitzenden, der Ausschluß eines Mitgliedes und der Verzicht eines Mitgliedes auf die Mitgliedschaft sind der Landesregierung anzuzeigen.

Plenarversammlungen

11. 1. 1985 in Braunschweig
Karl Gerke und Justus Herrenberger: „Zur Geschichte Braunschweiger Villen, insbesondere des Hauses Fallersleber-Tor-Wall 16“
(Zusammenfassung)
8. 2. 1985 in Braunschweig
Ernst Henze: „Einiges aus der Kryptographie“ (Zusammenfassung)
15. 3. 1985 in Braunschweig
Heinrich Rohdenburg: „Anthropogene und natürliche Bodenerosion“
(Zusammenfassung)
9. 4. 1985 in Hannover
Oskar Marenholtz: „Modelle fluidelastischer Schwinger“ (Kurzfassung)
15. 6. 1985 in Clausthal-Zellerfeld
Rudolf Jeschar: „Stickstoffarme Verbrennung und Primärentschwefelung industrieller Feuerungen“
12. 7. 1985 in Braunschweig
Ferdinand Stefan Rostásy: „Betonschäden, eine nüchterne Einschätzung zwischen Besorgnis und Polemik“
25. 10. 1985 in Braunschweig
Thomas Hartmann: „Der pflanzliche Sekundärstoffwechsel: Zufall oder Notwendigkeit?“
15. 11. 1985 in Braunschweig
Helmut Schönfelder: „Fernsehen erhöhter Bildqualität durch digitale Signalverarbeitung“ (Kurzfassung)

11.1.1985 in Braunschweig

Zur Geschichte Braunschweiger Villen, insbesondere des Hauses Fallersleber-Tor-Wall 16

(Zusammenfassung)

Von **Karl Gerke** und **Justus Herrenberger**

Der Standort der stadteigenen Villa Fallersleber-Tor-Wall 16, die gegenwärtig von der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft (Erdgeschoß) und dem Braunschweig-Studio des NDR (Obergeschoß) genutzt wird, läßt sich auf allen Stadtkarten ziemlich genau feststellen. Interessant ist dabei, wie sich der Umflutgraben im Laufe der Jahrhunderte durch die Stadterweiterung und die Vergrößerung der Befestigungen immer weiter nach außen verschoben hat. Um 1750 führte der breite Hauptgraben mitten durch das heutige Grundstück. Er wurde um 1800 zugeschüttet, der heutige schmale Umflutgraben folgt hier dem äußeren Ravelingraben der barocken Festungsanlage.

Nach 1800 wurden die Promenaden von Peter Joseph Krahe geschaffen, die Grundstücke wurden an zunächst 75 reiche Bürger verkauft. Am Fallersleber-Tor-Wall lag auch der 1. Botanische Garten, in dessen Bereich die zweite Anatomie des Anatomisch-Chirurgischen Institutes lag: die erste Anatomie hatte sich auf dem heutigen Gauß-Berg befunden.

Diese Wallgrundstücke waren sehr beliebt, sie wurden im Laufe der Jahrhunderte geteilt, so daß schließlich etwa 300 Eigentümer Grundstücke an den Wällen besaßen. Die Witwe Berta Löbbbecke, geb. Löbbbecke, in zweiter Ehe mit dem Kammerherrn W. v. Lauingen verheiratet, erwarb zwei Grundstücke aus dem Verkaufserlös des Rittergutes Edelburg ihres ersten Mannes an der Ostseite des Fallersleber-Tor-Walles und ließ sich in den Jahren 1906–1909 von Prof. Hermann Pfeifer eine prächtige Villa in süd-deutschen Barockformen bauen.

Hermann Pfeifer (1859–1940) stammt aus der Oberpfalz, studierte in München und lehrte von 1891 bis 1927 Antike Baukunst und Renaissance, Ornamentik, Raumkunst und Städtebau an der Technischen Hochschule. Er war ein hervorragender Zeichner, eine große Zahl delikater, farbig gekonnter Architekturzeichnungen sind in der Universitätsbibliothek verwahrt.

Eine Überarbeitung des Vortrages mit zahlreichen Stadtkarten, Skizzen und Bauzeichnungen ist in den „Mitteilungen der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig“, Heft 1/1986, erschienen.

8.2.1985 in Braunschweig

Einiges aus der Kryptographie

(Zusammenfassung)

Von **Ernst Henze**

Ausgehend von einem historischen Überblick wird das allgemeine Problem des Chiffrierens, d. h. der Geheimschriften mathematisch erläutert. Verschiedene, der Art nach unterschiedliche Verfahren werden geschildert und die allgemeine Problemstellung sowie die allgemeine Lösung aufgeführt. Diese Lösung ist natürlich in der Regel nur approximativ zu erreichen. Nach einem Überblick, auch über einige elektronische Verfahren, wird ein kurzer Abriß der modernen Theorie der Bibliotheks-Schlüsselverfahren gegeben. Für diese wird eine allgemeine Funktionalgleichung für die sogenannten Einweg-Funktionen abgeleitet und einer geschlossenen Lösung zugeführt.

Die Arbeit erscheint in leicht geänderter Form in den mathematischen Semesterberichten 1986.

15.3.1985 in Braunschweig

Anthropogene und natürliche Bodenerosion

(Zusammenfassung)

Von **Heinrich Rohdenburg**

Oft kann man feststellen, daß Bodenerosion auf anthropogene Veränderungen der Naturlandschaft zurückgeht, also z. B. auf eine Auflichtung bzw. völlige Zerstörung der natürlichen Vegetation, dadurch Verringerung des Bodenlebens und der infiltrationsfördernden Makroporen, Abnahme der Infiltration, Zunahme des Oberflächenabflusses, Abnahme des Bodenschutzes usw.

Andererseits haben zahlreiche Untersuchungen ergeben, daß in fast allen Klimazonen der Erde Bodenerosion auch durch Klimawechsel ausgelöst werden kann, wobei nur in extrem ariden Klimaten eine einfache Niederschlagserhöhung ausreichen kann. In den meisten Vegetationszonen muß eine Veränderung der Niederschlagsstruktur vorausgesetzt werden, wie z. B. eine Erhöhung des Anteils oberflächenabflußverursachender Starkregen bei einem Zurücktreten von Niederschlägen geringer Intensität oder/und einer Vergrößerung der Niederschlagsvarianz von Jahr zu Jahr durch Auftreten von vegetationsschädigenden Trockenjahren, und stärkeren Oberflächenabfluß und Erosion verursachenden Feuchtjahren.

Im Holozän, also in den letzten 10000 Jahren, muß man die Möglichkeit einer Interferenz von anthropogener und natürlicher (klimatischer) Verursachung der Bodenerosion berücksichtigen. Ein gut bekanntes Beispiel ist eine im vorigen Jahrhundert einsetzende Bodenerosionsperiode im Mittleren Westen der USA, die zu Beginn dieses Jahrhunderts wieder ausklang und jetzt als klimatisch ausgelöste Bodenerosionsperiode anzusehen ist. An vielen Standorten sind die Erosionseffekte sicher durch anthropogene Eingriffe erheblich verstärkt worden. An diesen Standorten konnte die Erosion durch entsprechende Schutzmaßnahmen entsprechend vermindert werden. Generell konnte jedoch gezeigt werden, daß die Erosion auch dort ausklang oder stark zurückging, wo die geplanten Schutzmaßnahmen noch nicht ausgeführt worden waren.

Bei vielen Beispielen holozäner Bodenerosion kann man aus Mangel an Befunden den genauen Anteil anthropogener und klimatischer Effekte nicht genau abschätzen, so daß in der Literatur oft kontroverse Auffassungen geäußert werden. Es ist sicher sinnvoll, die historisch-genetische Analyse solcher Befunde durch Geländearbeiten voranzutreiben. In Zukunft immer wichtiger werden Prozeßanalysen, die durch Simulationen mit deterministischen Prozeßmodellen unterstützt werden müssen.

19.4.1985 in Hannover

Modelle fluidelastischer Schwinger

(Kurzfassung)

Von Oskar Mahrenholtz

Strömungsfreie Schwingungen sind bei der Durchströmung und Umströmung von Körpern anzutreffen, wobei die Anströmung stationär oder instationär sein kann. Kennzeichen aller fluidelastischen Schwingungen ist eine Wechselwirkung zwischen dem strömenden Fluid und der angeströmten Struktur. Die Kopplung wird über die fluidischen Kräfte hergestellt, die ihrerseits von der Strukturbewegung abhängen (Bild 1). Während sich das Verhalten schwingender Strukturen gut berechnen läßt, trifft dies für das interaktive (Um-)Strömungsfeld nur bedingt zu. Daher arbeitet man mit Modellen, die an dominanten Phänomenen orientiert sind.

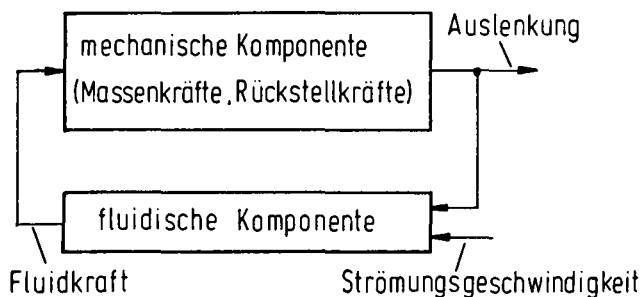


Bild 1: Fluidelastisches System

Flattern:

Flatterschwingungen sind selbsterregt, die periodischen Strömungskräfte folgen ausschließlich aus der Bewegung des schwingenden Profils. Dramatische Schadensfälle an Flugzeugen lieferten bereits 1916 Impulse für eine erste Analyse des Problems [1, 2]. Ein elementares Modell zum klassischen Flattern ist die elastisch gelagerte Platte mit zwei Freiheitsgraden (Bild 2) in ebener Potentialströmung (Potentialflattern). Für eine grundlegende Betrachtung sind zunächst die vereinfachenden Annahmen erlaubt, daß die Umströmung der schwingenden Platte in jedem Augenblick (quasi)stationär ausgebildet und die relative Anströmung allein von der Translationsbewegung abhängig ist. Beim Überschreiten einer kritischen Anströmgeschwindigkeit stellt sich eine Flatterschwingung ein, die sich aus fluidisch gekoppelten Translationsbewegungen $y(t) = \hat{y} e^{i\omega t}$ und Drehbewegungen $\varphi(t) = \hat{\varphi} e^{i\omega t}$ zusammensetzt und über eine geeignete Phasenverschiebung zwischen den (komplexen) Amplituden \hat{y} und $\hat{\varphi}$ von der Strömung mit Energie versorgt wird. Dämpfung beseitigt diesen gefährlichen Mechanismus

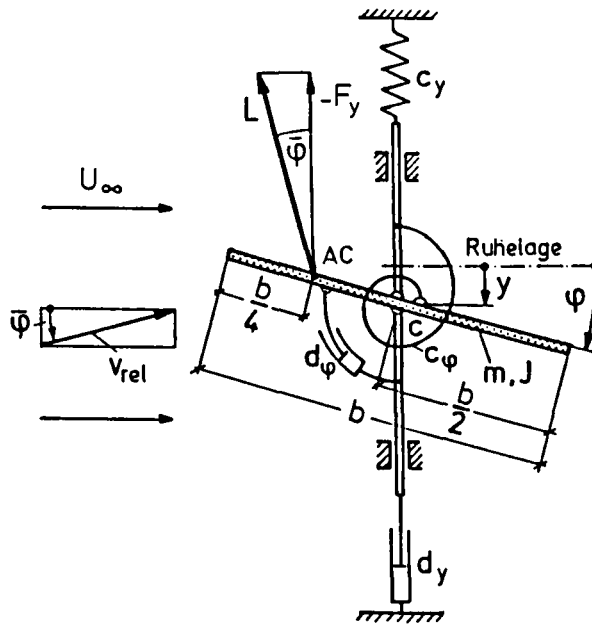


Bild 2: Modell zum Potentialflattern

nicht, sondern verschiebt ihn nur. Kritischen Fällen muß durch konstruktive Maßnahmen begegnet werden. In den zwanziger und dreißiger Jahren dieses Jahrhunderts wurde schließlich ein vollständiges Modell zum Potentialflattern entwickelt, das neben dem Einfluß der Drehbewegung auf die relative Anströmung den transienten Charakter der Umströmung des schwingenden Profils berücksichtigt und die dreidimensionale Strömung an einem endlichen Flügel erfaßt. Hierzu seien die Arbeiten von Wagner [3], Theodorsen [4] und Küssner [5, 6] hervorgehoben.

Das Flattern von Brückendecks, das zur Zerstörung einer Reihe von Hängebrücken geführt hat, zeigt häufig eine kombinierte Torsions- und Biegeschwingung, wie sie auch für das Potentialflattern typisch ist. Da die Strömungsablösungen an einem Brückendeck jedoch keinen potentialtheoretischen Ansatz zulassen, geht der analytische Charakter der Lösung verloren. Das klassische Modell wird zwar strukturell beibehalten, nur müssen die frequenzabhängigen fluiddynamischen Beiwerte experimentell im Windkanal bestimmt werden; sie sind überdies amplitudenabhängig: das im Grunde nichtlineare Modell wird linearisiert betrachtet.

Der Mechanismus des Abreißflatterns, das überwiegend als reine Torsionsschwingung zu beobachten ist, lebt von der Strömungsablösung. Gefährdet sind schlanke Tragflügel oder tragflügelähnliche Profile, vornehmlich solche, die mit großen stationären Anstellwinkeln arbeiten, wie Propeller oder Schaufelblätter. Überschreitet der Anstellwinkel des vom Moment der Strömungskraft elastisch verdrehten Profils den Abreiß-

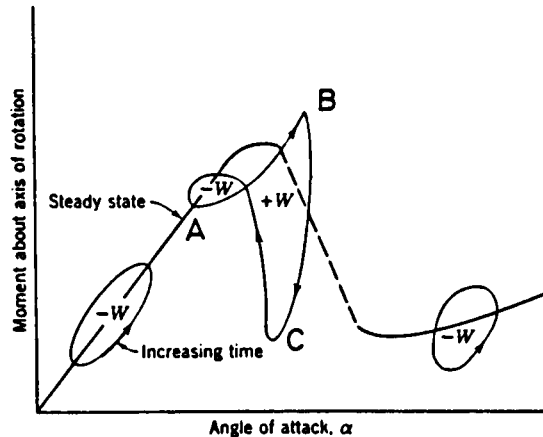


Bild 3: Hysterese beim Abreißflattern (nach Fung [7])

winkel (Bild 3), so bricht der Auftrieb zusammen und der Flügel federt zurück. Dabei wird die skizzierte Hystereseschleife ABC durchlaufen und dem Schwinger Energie zugeführt, allerdings nur in der Umgebung des stationären Abreißwinkels, so daß sich eine endliche Amplitude einstellt.

Formanregung (Galloping):

Unter Formanregung (in der angelsächsischen Literatur ‚galloping‘, nach den Schwingungen vereister Freileitungen, die an das Galoppieren von Pferden erinnern), versteht man im allgemeinen die Selbsterregung stumpfer Profile zu Translationschwingungen quer zur Anströmrichtung. Den Hartog [8] fand, daß die Instabilität auf einer von der Querschnittsform abhängigen „negativen Quertriebscharakteristik“ beruht, wie in Bild 4 am Beispiel eines Quaderzylinders verdeutlicht ist. Die vom Winkel α der relativen Anströmung und damit von der Profilbewegung \dot{y} abhängige Strömungsablösung verursacht eine jeweils in Bewegungsrichtung weisende Strömungskraft F_y . Ein linearer einfacher Schwinger (Bild 6) folgt dann der Bewegungsgleichung

$$m \ddot{y} + 2 D m \omega_0 \dot{y} + m \omega_0^2 y = F_y.$$

Das physikalische Modell dieser Anregung geht von einem quasistationären Ansatz aus; die Quertriebskraft $F_y(\alpha)$ wird experimentell an dem stationär unter dem Winkel α angeströmten Profil durch Messung der statischen Widerstandskraft D und der statischen Auftriebskraft L (Bild 6) ermittelt:

$$F_y = - D \sin \alpha - L \cos \alpha.$$

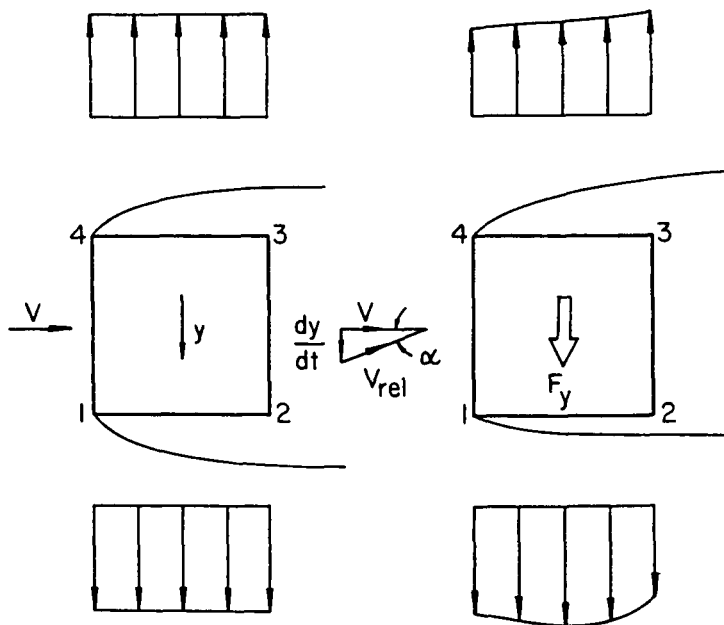


Bild 4: Galloping-Mechanismus (nach Parkinson und Sullivan [9])

Entwickelt man den dimensionalen Beiwert (ebene Strömung, Profillänge ,l')

$$c_{F_y} = \frac{2 F_y}{\rho U_\infty^2 b} = - \frac{1}{\cos \alpha} (c_L + c_D \tan \alpha)$$

in eine Reihe

$$c_{F_y} = \sum_{i=0}^n a_i \left(\frac{\dot{y}}{U_\infty} \right)^i$$

mit $\alpha = \dot{y}/U_\infty$ für kleine α , so liefert der Koeffizient

$$a_1 = \left. \frac{d c_{F_y}}{d \alpha} \right|_{\alpha=\alpha_0} = - \left(\frac{d c_L}{d \alpha} + c_D \right) \Big|_{\alpha=\alpha_0}$$

eine erste Aussage über die Stabilität des Systems. Für verschwindende strukturelle Dämpfung setzt bei Erfüllung des Den Hartog-Kriteriums [8]

$$\left(\frac{d c_L}{d \alpha} + c_D \right) \Big|_{\alpha=\alpha_0} < 0$$

eine weiche Galloping-Erregung ein. Parkinson und Smith [10] approximierten den $c_{F_y}(\alpha)$ -Verlauf eines Quadrats-Profiles durch eine Potenzreihe 7. Ordnung und lösten die

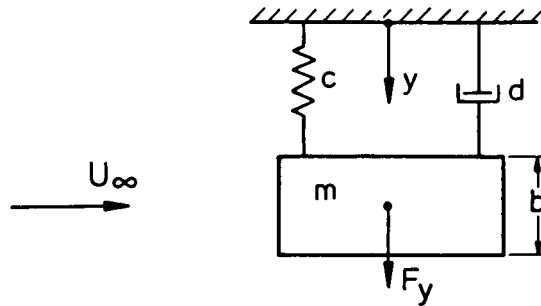


Bild 5: Mechanisches Ersatzsystem

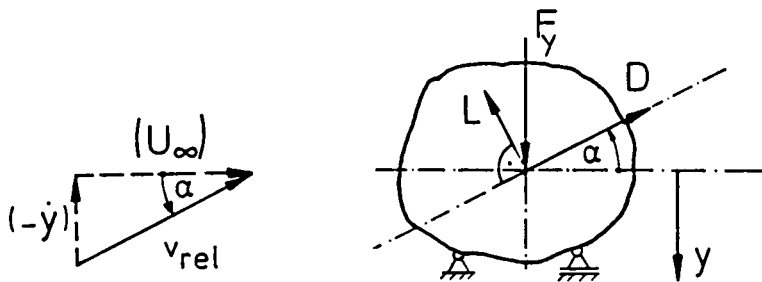


Bild 6: Bestimmung des Quertriebs

schwach nichtlineare Schwingungsgleichung nach dem Verfahren der harmonischen Balance. Die rechnerische Lösung zeigt gute Übereinstimmung mit dem experimentellen Ergebnis. Voraussetzung ist allerdings, daß der quasistationäre Ansatz zutrifft. Als Anhaltspunkt hierfür kann – mit der reduzierten Geschwindigkeit $V_r = U_\infty / (f_0 b)$ – ein Wert $V_r > 20$ gelten.

Wirbelanregung

Wirbelanregung tritt an stumpfen Körpern (Widerstandsprofilen) auf, deren Umströmung mit Strömungsablösung verbunden ist. Im Gegensatz zu den bisher erwähnten Anregungsmechanismen ist die Wirbelanregung bereits am ruhenden Körper wirksam. Die mit der Strömungsablösung entstehende Diskontinuitätsfläche zerfällt in eine Wirbelschicht, die sich zu einem Wirbelkern aufrollt. Der Vorgang findet abwechselnd zu beiden Seiten des Körpers statt, wobei die korrespondierenden periodischen Druckkraftschwankungen im wesentlichen quer zur Anströmungsrichtung wirken. Die gestaffelten, gegensinnig drehenden Wirbel schwimmen in den Nachlauf ab und bilden eine Wirbelstraße.

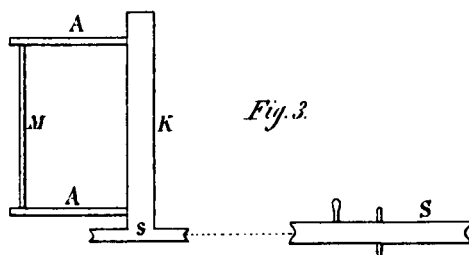


Bild 7: Strouhals Versuchsanordnung (nach Strouhal [11])

Lange Zeit beobachtete man Ursache und Wirkung der Wirbelanregung, ohne daß sie einander zugeordnet werden konnten. Schon im Altertum nutzte man wirbelerregte Schwingungen zum Erklängen der Äolsharfe. Leonardo da Vinci skizzierte Wirbelablösungen an einem Rechteckprofil im Wasserkanal. Strouhal [11] stellte 1878 umfangreiche Untersuchungen mit einer Vorrichtung an, die einen anzuströmenden Stab oder Draht auf einer Kreisbahn führte, und ermittelte einen linearen Zusammenhang zwischen der Tonfrequenz einer angeströmten Saite und der auf den Saitendurchmesser bezogenen Geschwindigkeit. Strouhal meinte, daß die Schwingung „außer allem Zweifel“ auf Reibungseffekten beruhe und längs der Strömungsrichtung stattfände. Lord Rayleigh [12] hingegen gelangte 1879 mit einer sinnreichen Versuchseinrichtung, in der er die Schwingung einer Saite in einer horizontalen, thermisch angetriebenen Luftströmung mit einem Lichtreflex sichtbar machte, zu der Erkenntnis: „The path of the point of light was seen to be nearly rectilinear and vertical, showing that the vibration is across the wind. Sometimes the path was sensibly elliptic with the major axis vertical.“ Eine Erklärung der Anregung gab er allerdings nicht an. Der Zusammenhang mit der periodischen Wirbelablösung wurde erst erkannt, nachdem v. Kármán in den Jahren 1911/12 seine berühmt gewordenen Arbeiten zur Wirbelstraße veröffentlichte [13, 14] und damit die systematische Erforschung der Wirbelablösung und der Wirbelanregung einleitete, die bis heute nicht abgeschlossen ist. Einen Überblick über die hierzu inzwischen sehr umfangreiche Literatur findet man z. B. bei Bublit [15], Berger und Wille [16] und Sarpkaya und Shoaff [17].

Ist das angeströmte Profil elastisch verschieblich, so wirken die angeregten Querschwingungen sowohl auf den Betrag und die Phase als auch auf die Frequenz f_w der fluidischen Erregung zurück. Bild 8 zeigt Messungen von Feng [18] an einem frei schwingenden, schwach gedämpften Kreiszylinder (Durchmesser b , Eigenfrequenz f_n , Strouhalzahl $S = 0,2$) in ebener Luftströmung, aufgetragen über der reduzierten Anströmgeschwindigkeit $V_r = U_\infty/(f_n b)$. Für $V_r < 5$ und $V_r > 7$ ändert sich die Wirbelfrequenz f_w wie am unverschieblichen Modell entsprechend der Strouhalbeziehung $f_w = S \cdot (U_\infty/b)$ proportional zur Anströmgeschwindigkeit. Dazwischen, rechtsseitig vom Punkt $f_w \approx f_n$, liegt ein ausgeprägter lock-in-Bereich, in dem die Wirbelfrequenz f_w von der Bewegungsfrequenz f_0 mit $f_0 \approx f_n$ diktiert wird. In diesem Intervall, auch als Mitnahme- oder Synchronisationsbereich bezeichnet, wachsen zudem die Amplitude

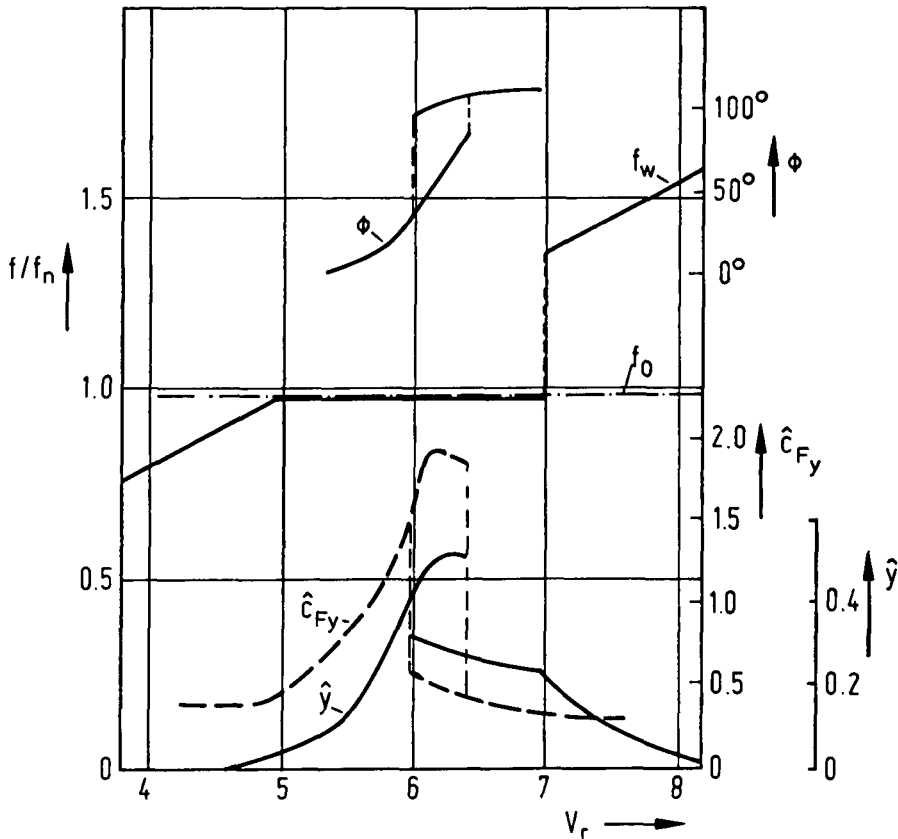


Bild 8: Gemessene Wirbelanregung eines Kreiszylinders (nach Feng [18])

des Quertriebsbeiwertes und der Querschwingung, \hat{c}_{Fy} und \hat{y} , sowie der Phasenwinkel Φ , um den die Bewegung der Erregung nacheilt, stark an und zeigen ferner ein deutliches Hystereseverhalten, das den nichtlinearen Charakter des Systems unterstreicht.

In dem Bemühen um eine mathematische Beschreibung dieser komplexen fluidelastischen Schwingung haben sich drei unterschiedliche Modellbildungen herauskristallisiert.

Die Strömungsfeldmodelle gründen auf einer Analyse des Strömungsfeldes und entsprechen im Idealfall den vollständigen Navier-Stokes-Gleichungen, deren Lösung jedoch nur begrenzt möglich ist. Technisch interessante Ergebnisse setzen zusammenfassende, experimentell gestützte Vorgaben voraus. So liefert das 'discrete-vortex-model' von Sarpkaya und Shoaff [17] eine bemerkenswerte Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Feng [18], allerdings keine Abbildung der Hysterese.

Bei den Wirbeloszillatormodellen dagegen, die von Hartlen, Baines und Curry [19] und später z. B. von Landl [20] und Berger [21] entwickelt wurden, verzichtet man auf

eine Betrachtung des Strömungsfeldes und orientiert sich in der Wahl der beschreibenden Gleichungen und Anpassungsparameter lediglich an den angesprochenen Phänomenen.

Ein semiempirisches Modell schließlich stellt einen Formalismus dar, dessen charakteristische Größen in der Interaktion von umströmtem Körper und Fluid identifizierbar und meßtechnisch zugänglich sind. Das bedeutet, daß die Leistungsfähigkeit eines derartigen Modells unmittelbar vom Verständnis der Vorgänge im Strömungsfeld abhängig ist.

Zur Verbesserung des Verständnisses führten Fago, Mahrenholtz und Oltmann [22, 23] Untersuchungen am Quadratprofil durch, in denen Messungen des Energietransfers und der Wirbelfrequenz, die Spektralanalyse des Geschwindigkeitsfeldes sowie fotografische und videotechnische Aufnahmen im Wind- und Wasserkanal zusammengefaßt waren.

Es zeigte sich, daß die wirbelerregte Schwingung eines Quadratzylinders in vorher nicht bekannter Weise durch das Zusammenwirken eines profilinduzierten und eines bewegungsinduzierten Wirbelsystems bestimmt ist. Die profilinduzierten Wirbel (hier auch Strouhal-Wirbel genannt) bilden sich mit der Strouhalfrequenz $f_w = S (U_\infty/b)$, die bewegungsinduzierten hingegen mit der Bewegungsfrequenz f_0 .

Der Energietransfer zwischen fluidischem und mechanischem Schwinger kommt in dem von Scruton [24] eingeführten aerodynamischen Dämpfungsbeiwert

$$k_a = m_r \frac{\oint F_y dy}{2 \hat{T}_y}$$

zum Ausdruck, in dem die während einer Periode von der Quertriebskraft F_y geleistete Arbeit auf die maximale kinetische Energie \hat{T}_y des Schwingers bezogen wird; $m_r = 2 m / (\rho b^2)$ ist das sogenannte Massenverhältnis (m : Masse des Schwingers, ρ : Dichte des Fluids). In Bild 9 ist die aerodynamische Dämpfung eines Quadratzylinders (Kantenlänge $b = 100$ mm) für verschiedene Amplituden $\hat{\eta} = \hat{y}/b$ über der reduzierten Geschwindigkeit V_r aufgetragen. In der Umgebung von $f_w/f_0 = 1$ ist der k_a -Wert auffälligen, durch krasse Phasendrehungen bedingten Änderungen unterworfen. Als Orientierungshilfe sind die Werte $f_w/f_0 = 1,02$ und $f_w/f_0 = 1,25$ markiert, die den für $\hat{\eta} = 0,15$ gefundenen lock-in-Bereich eingrenzen (Bild 10). Aus der Wirbelablösefrequenz am ruhenden Modell resultiert eine Strouhalzahl $S = 0,14$.

Bild 11 faßt Ergebnisse der Spektralanalyse des Geschwindigkeitsfeldes im Körpernachlauf zusammen. Während die Bewegungsfrequenz f_0 für alle Wertepaare der $(V_r, S/\hat{\eta})$ -Ebene im Nachlauf anzutreffen ist, verschwindet die Spektrallinie der Strouhalfrequenz f_w bei einer Grenzamplitude, die von der jeweiligen Anströmgeschwindigkeit abhängt. Der Verlauf dieser Grenzamplitude ist in Bild 11 dargestellt und gibt gleichzeitig über die Abhängigkeit des lock-in-Bereiches von der Schwingungsamplitude Auskunft. In den verschiedenen Bereichen des Grenzamplitudendiagramms stellen sich qualitative Veränderungen des Strömungsfeldes ein, die im Windkanal und im Wasserkanal sichtbar gemacht wurden. Punkt 1 des Grenzamplitudendiagramms ($V_r S = 0,43$; $\hat{\eta} = 0,1$) liegt im „Bereich f_0 “, d. h., das Spektrum des Geschwindigkeits-

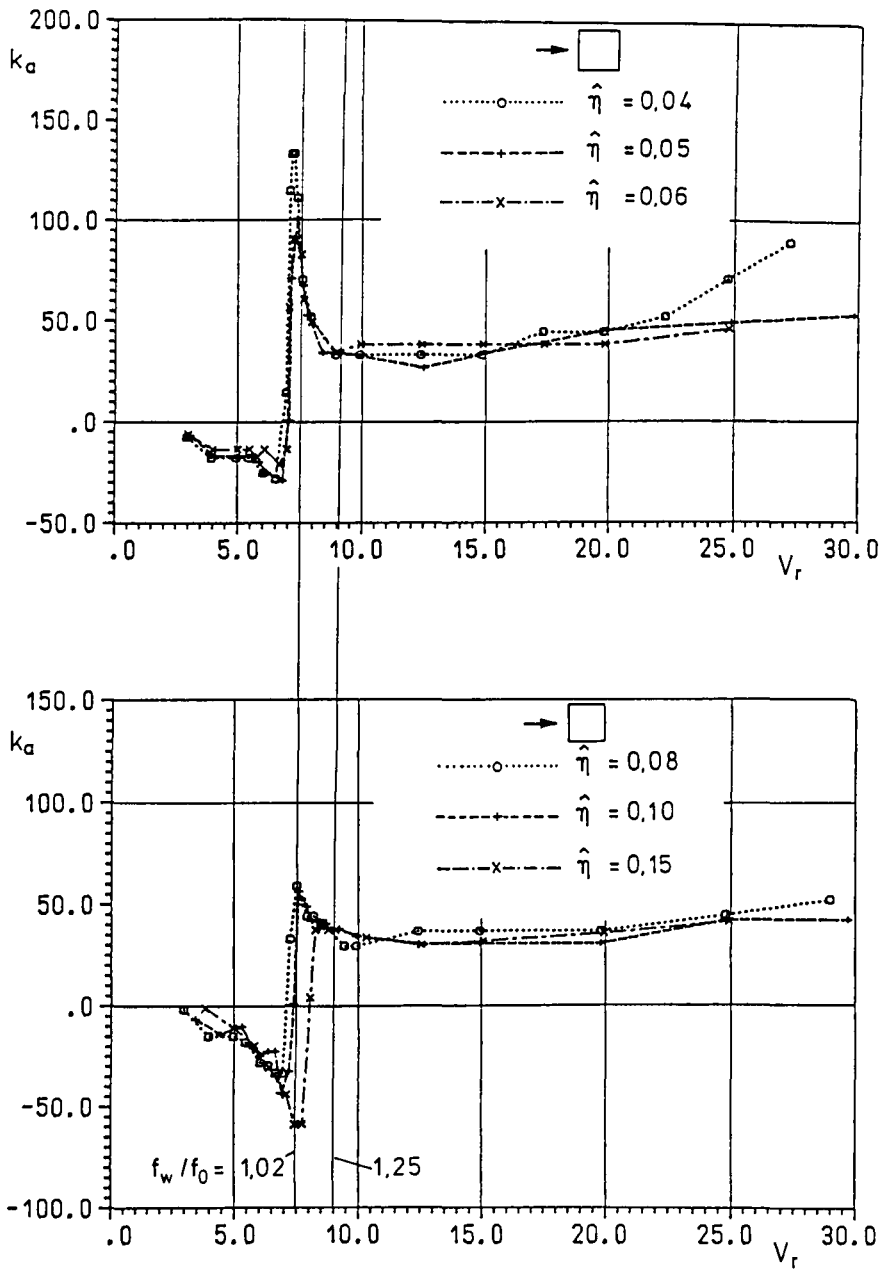


Bild 9: Aerodynamische Dämpfung des Quadratprofils

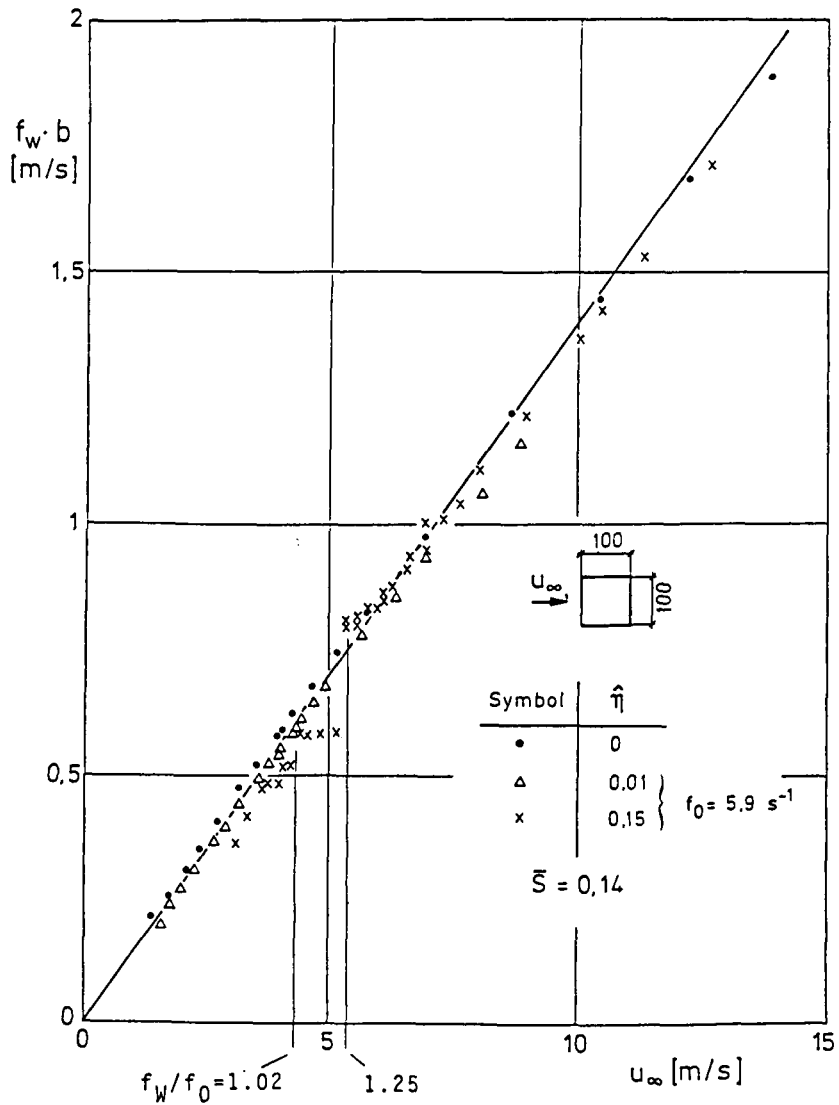


Bild 10: Wirbelablösefrequenz am ruhenden und schwingenden Quadratzylinder

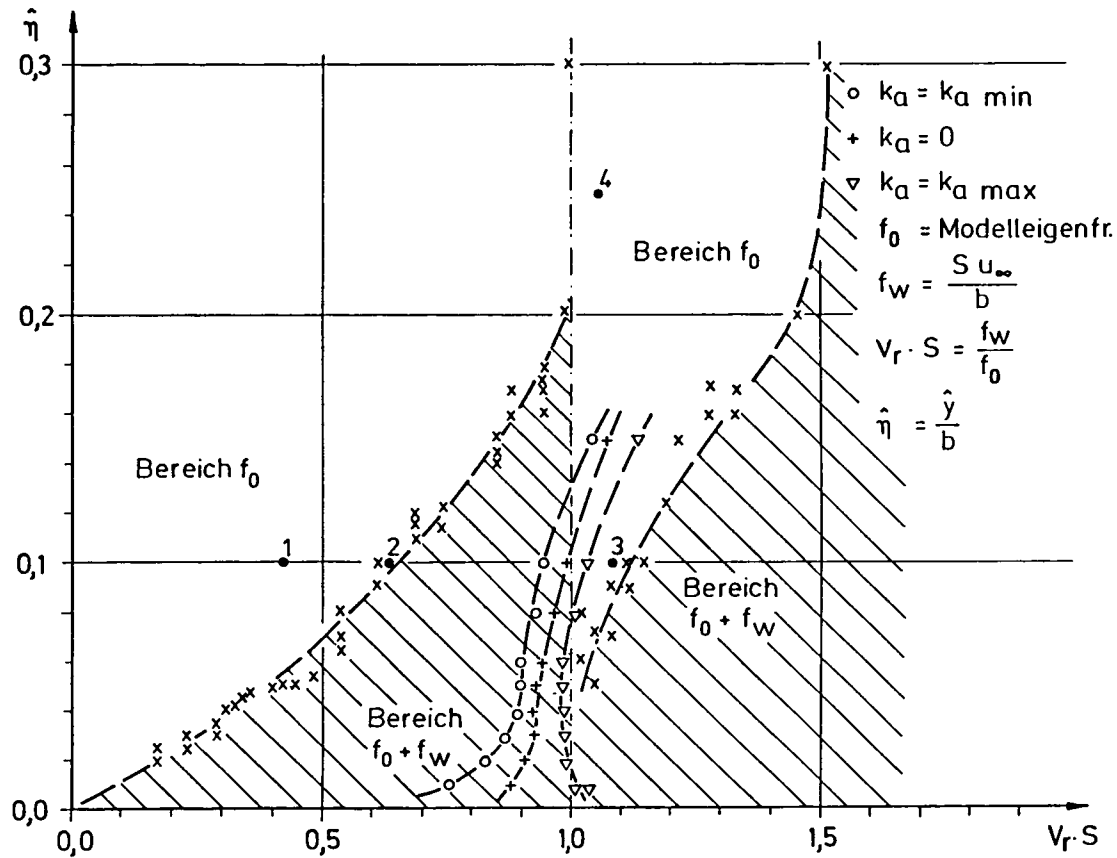
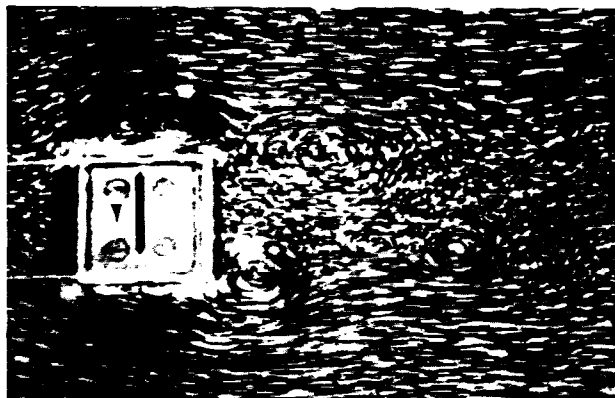


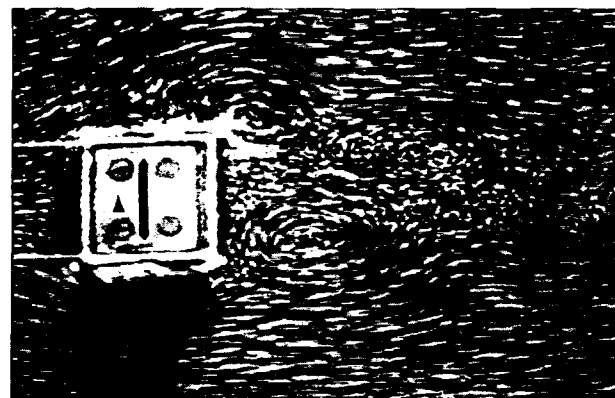
Bild 11: Grenzamplitudendiagramm eines Quadratprofils

feldes in der Umgebung und im Nachlauf des Profils enthält nur die Bewegungsfrequenz f_0 (neben höheren Harmonischen). Die zugehörigen Aufnahmen des Strömungsfeldes (Bilder 12, 13) zeigen ein bewegungsinduziertes Wirbelsystem in Reinkultur ($Re \approx 5000$). Auf der jeweiligen Leeseite des zwangsgeführten Quadrazylinders dreht sich die während der Beschleunigung des Modells von der Vorderkante angelieferte Scherschicht zu einem Wirbel ein, der bereits auf der Flanke voll ausgebildet ist. Die Entstehung dieser Wirbel ist auf eine Interaktion zwischen den gegenüberliegenden, hier durch eine Totwasserzone getrennten Wirbelreihen nicht angewiesen. Zum Vergleich ist in den Bildern 14, 15 ein reiner Kármánwirbel ($\hat{\eta} = 0$, $Re = 5000$, $S = 0,13$) abgebildet. Er absolviert den wesentlichen Teil seines Wachstums auf der Profiltrückseite, dreht sich tief in den Nachlauf und steht in Wechselwirkung mit der gegenüberliegenden Scherschicht. In den Bildern 16 bis 23 (Punkt 2 des Diagramms; $V_r S = 0,63$, $\hat{\eta} = 0,1$) ist der „Bereich $f_0 + f_w$ “ wiedergegeben. Aus den Videoaufnahmen des Strömungsfeldes, von denen die vorliegenden Bilder abfotografiert sind, ist ersichtlich, daß temporär eine Wirbelstraße auftritt, deren Frequenz der Strouhalzahl folgt (Bilder 16 bis 19). Mit der Differenz zwischen der Bewegungsfrequenz und der Strouhalfrequenz ist jedoch schon nach wenigen Perioden eine ungünstige Phasenlage zwischen den Wirbelsystemen verbunden (Bilder 20 bis 23), deren Kollision sodann zu einer Auflösung der Ordnung im Nachlauf führt. In dieser Phase ist das Spektrum nur von der Bewegungsfrequenz bestimmt, mit der sich weiterhin die Scherschicht von der Vorderkante ablöst. Der sogenannte lock-in-Bereich ist schließlich in den Bildern 24 bis 27 dargestellt. Für $V_r S = 1,09$, $\hat{\eta} = 0,1$ (Punkt 3) erkennt man in Bild 24 einen linksdrehenden, abschwimmenden Wirbel, dem – wie es sich für eine Kármánsche Wirbelstraße gehört – ein rechtsdrehender Wirbel an der oberen Hinterkante folgen will. Im weiteren Verlauf formiert sich jedoch ein zusätzlicher linksdrehender Wirbel und löst sich vor dem rechtsdrehenden Wirbel ab (Bilder 26, 27). Auf diese Weise wird die alternierende Wirbelstraße von jeweils gleichsinnig drehenden Zweiergruppen gebildet. Der Vorgang ist auf den lock-in-Bereich beschränkt und stabil. Seine Phasenlage ist von der Anströmgeschwindigkeit und der Amplitude abhängig. Die Bilder 28 bis 31 zeigen den entsprechenden Ablauf bei $V_r S = 1,06$ und einer größeren Amplitude $\hat{\eta} = 0,25$ für zwei rechtsdrehend aufeinanderfolgende Wirbel.

Die dargestellten Beobachtungen werfen – zumindest beim Quadratprofil – Zweifel an den gängigen Interpretationen des lock-in-Bereiches auf. Es ist nicht sinnvoll, in Anlehnung an einen fremderregten van der Pol-Schwinger vom lock-in zu sprechen, wenn der Mechanismus, der den selbsterregten, fluidischen Schwinger determiniert, nämlich die Kármánsche Wirbelstraße, nicht mehr existiert.

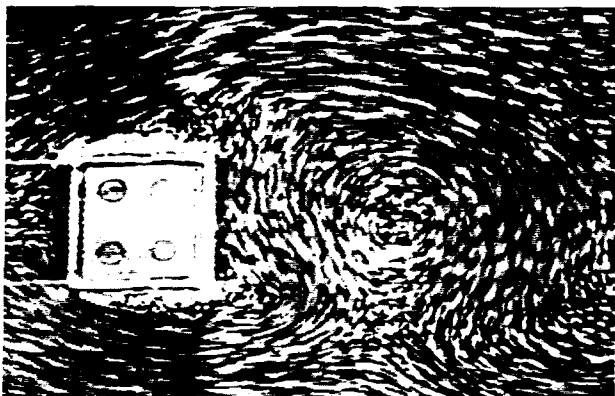


12

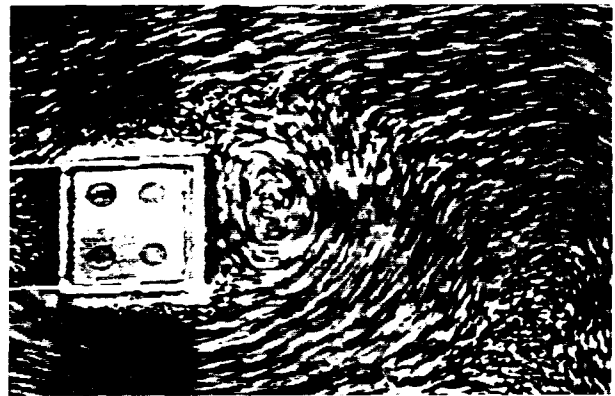


13

Bilder 12, 13: „Bereich f_0 “ (Punkt 1)

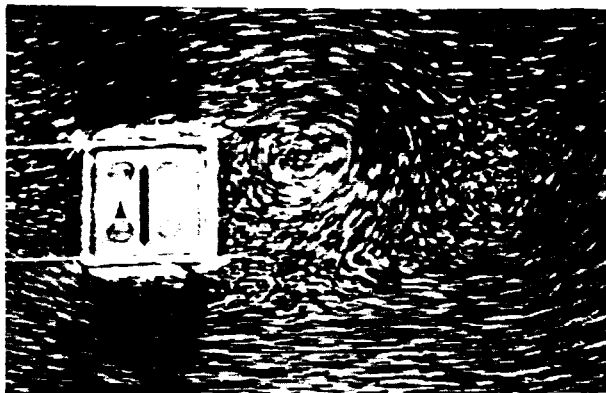


14

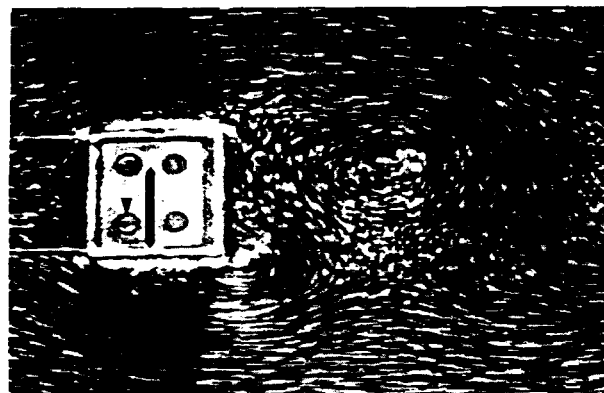


15

Bilder 14, 15: Kármánwirbel am ruhenden Modell

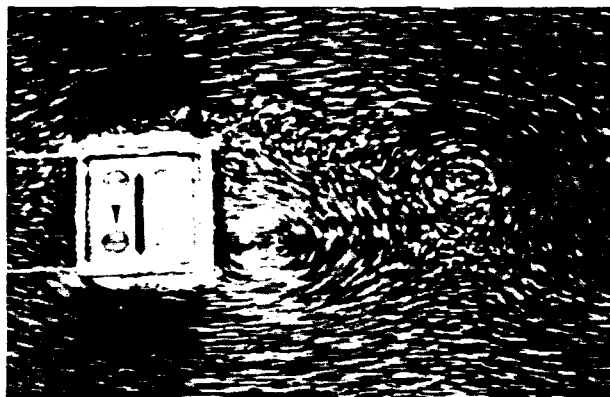


16

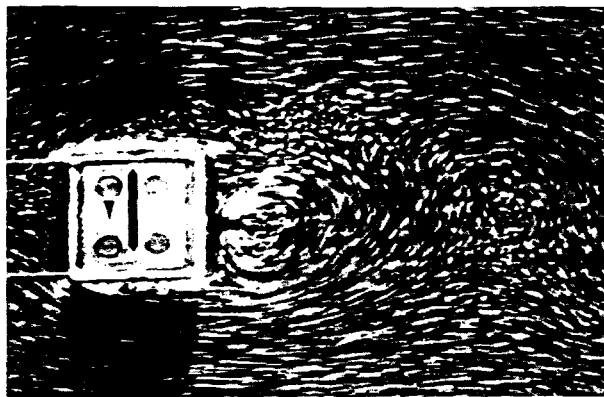


17

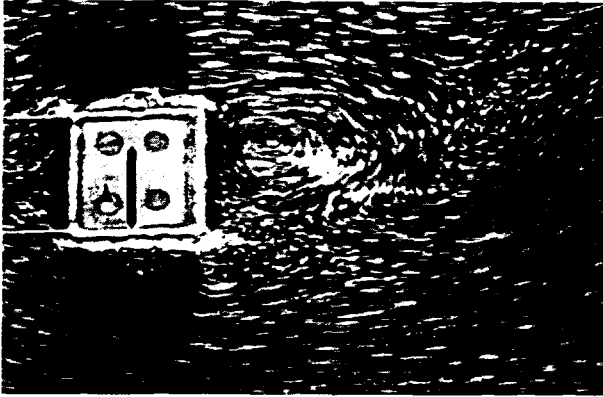
Bilder 16 bis 19: „Bereich $f_0 + f_w$ “ (Punkt 2)



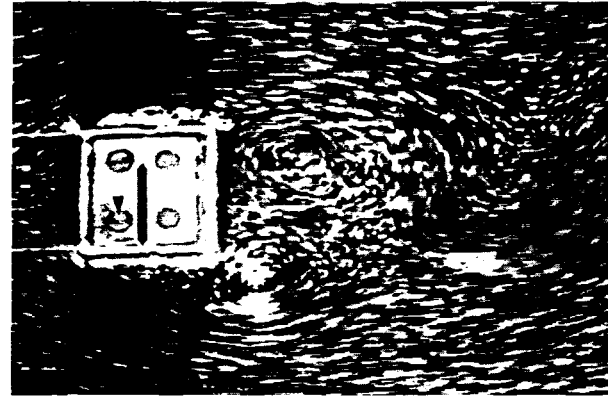
18



19

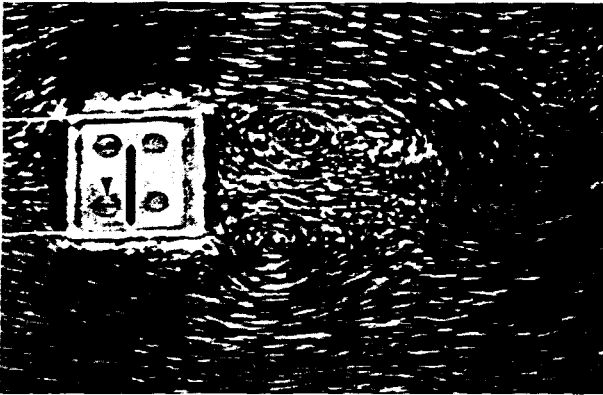


20

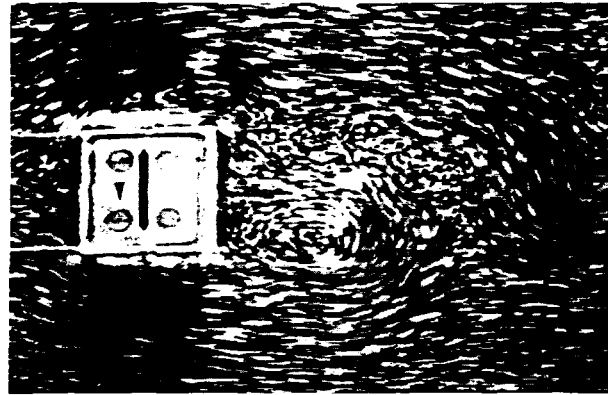


21

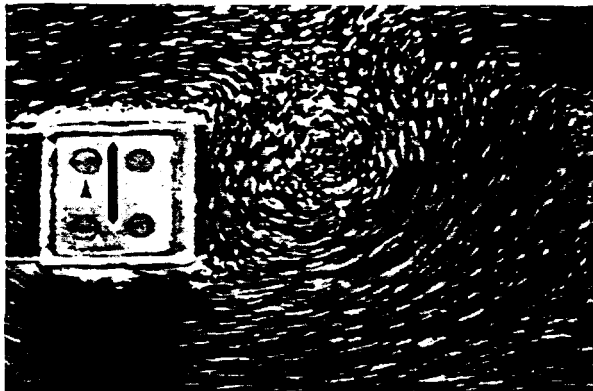
Bilder 20 bis 23: „Bereich $f_0 + f_w$ “ (Punkt 2)



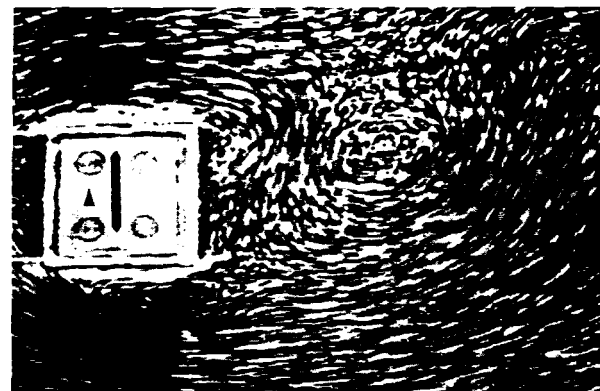
22



23

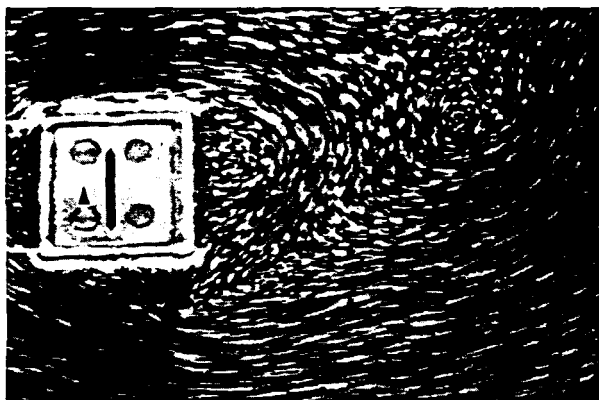


24

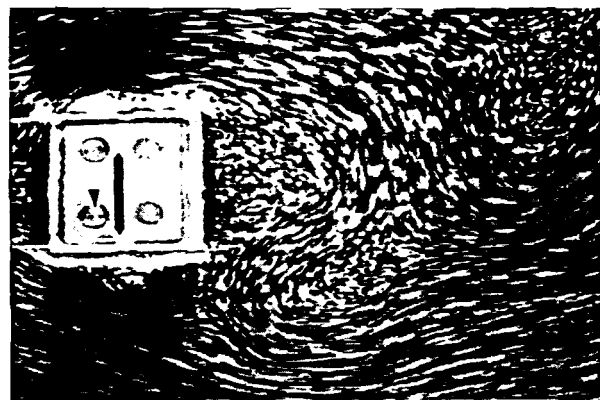


25

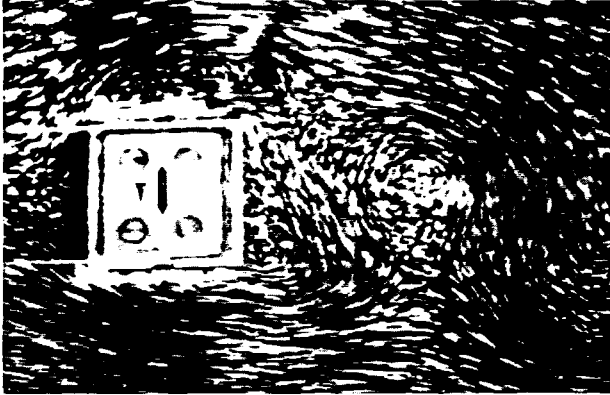
Bilder 24 bis 27: „lock-in-Bereich“ (Punkt 3)



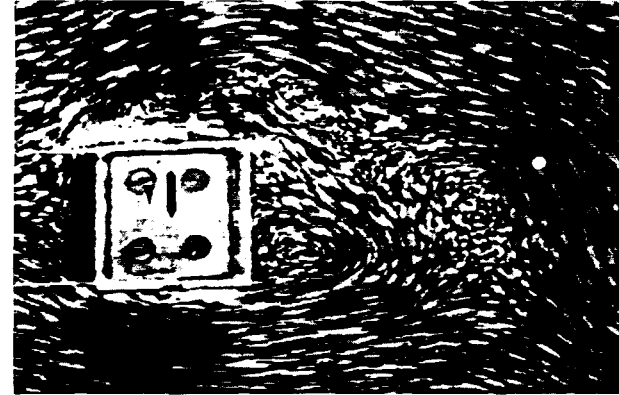
26



27

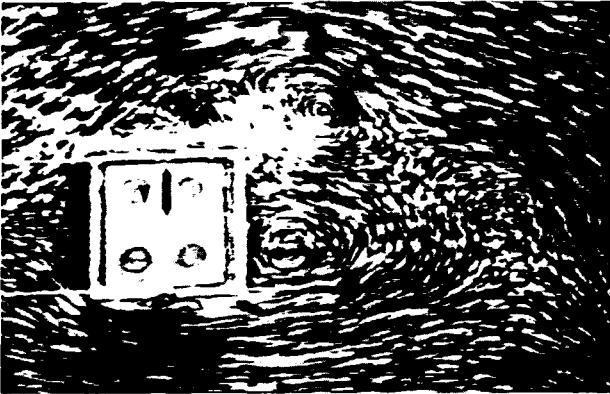


28

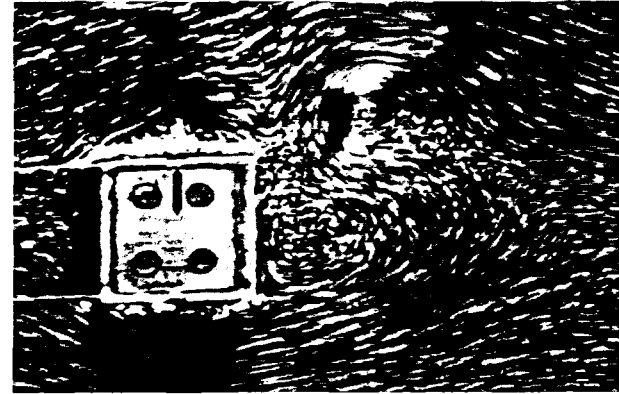


29

Bilder 28 bis 31: „lock-in-Bereich“ (Punkt 4)



30



31

Literatur

- [1] Lanchester, F.W.: Torsional Vibration of the Tail of an Aeroplane, Aeron. Research Com. R. u. M. 276, Part 1 (1916).
- [2] Bairstow, L. und Fage, A.: Oscilation of the Tail Plane and Body of an Aeroplane in Flight, Aeron. Research Com. R. u. M. 1041 (1925).
- [3] Wagner, H.: Über die Entstehung des dynamischen Auftriebs von Tragflügeln, ZAMM, Bd. 5 (1925), 17–35.
- [4] Theodorsen, Th.: General Theory of Aerodynamic Instability and the Mechanismen of Flut-ter, NACA, Rep. 496 (1935).
- [5] Küssner, H.G.: Zusammenfassender Bericht über den instationären Auftrieb von Flügeln, Luftfahrtforsch., Bd. 13 (1936), 410–424.
- [6] Küssner, H.G.: Allgemeine Tragflächentheorie, Luftfahrtforsch., Bd. 17 (1940), 370–378.
- [7] Fung, Y.C.: An Introduction to the Theorie of Aeroelasticity, Dover Publications, Inc., New York 1969.
- [8] Den Hartog, J.P.: Transmission Line Vibration due to Sleet, Trans. AIEE 49 (1930), 444.
- [9] Parkinson, G.V. und Sullivan, P.P.: Galloping Response of Towers. In: Proc. 3d Colloq. on Industrial Aerodyn., Aachen 1978, S. 21–34.
- [10] Parkinson, G.V. und Smith, J.D.: An Aeroelastic Oscillator with two Stable Limit Cycles, J. of Appl. Mech., Trans. ASME (June 1962), 444–445.
- [11] Strouhal, V.: Über eine besondere Art der Tonerregung, Annalen Physik u. Chemie, Bd. V (1878), 216–251.
- [12] Rayleigh, Lord (J.W. Strutt): Acoustical Observations II, Phil. Mag. VIII, No. 42 (1879), 149–162.
- [13] Kármán, Th. v.: Über den Mechanismus des Widerstandes, den ein bewegter Körper in einer Flüssigkeit erfährt, Nachr. v. d. Königl. Gesellsch. d. Wissenschaft in Göttingen (1911), 509–517.
- [14] Kármán, Th. v. und Rubach, H.: Über den Mechanismus des Flüssigkeits- und Luftwiderstandes, Phys. Zeitschr. 13 (1912), 45–49.
- [15] Bublitz, P.: Übersicht über das Problem des querangeströmten Kreiszyinders unter besonderer Berücksichtigung instationärer Vorgänge, AVA-Bericht 67 J 09 (1967).
- [16] Berger, E. und Wille, R.: Periodic Flow Phenomena, Annual Review of Fluid Mech. 4 (1972), 313–340.
- [17] Sarpkaya, T. und Shoaff, R.L.: A Discrete-Vortex Analyses of Flow about Stationary and Transversely Oscillating Circular Cylinderes, NPS-69SL79011, Naval Postgrad. School, Monterey 1979.
- [18] Feng, C.C.: The Measurement of Vortex Induced Effects in Flow Past Stationary and Oscil-lating Circular and D-Section Cylinders, M. A. Sc. Thesis, U. British Columbia, 1968.
- [19] Hartlen, R.T., Baines, W.D. und Curry, I.G.: Vortex-excited Oscillations of a Circular Cylinder. UT Mech E TPO 6809, Dep. of Mech. Engineering, Univ. of Toronto, Nov. 1968.
- [20] Landl, R.: Ein Modell für strömungserregte Schwingungen, DFVLR, Inst. für Turbulenz-forsch., Berlin 1974.
- [21] Berger, E.: Zwei fundamentale Aspekte wirbelerregter Schwingungen. Abschlußber. z. Forsch. DFG-AZ Be 343/12, 1984.
- [22] Fago, B., Mahrenholtz, O. und Oltmann, R.: Untersuchungen zum bewegungsinduzierten Wirbel bei stumpfen Körpern. Abschlußber. z. Forsch. DFG-AZ Ma 358/27-1, 1985.
- [23] Fago, B.: Wirbelablösung am oszillierenden prismatischen Körper, Vortr. Obersem. f. Mech. (unveröffentl.), Univ. Hannover, 1984.
- [24] Scruton, C.: On the Wind-Excited Oscillations of Stacks, Towers and Masts. In: Proc. 1st Conf. on Wind Effects on Buildings and Structures. Teddington 1963.

15.6.1985 in Clausthal

Stickstoffoxidgearme Verbrennung und Primärentschwefelung industrieller Feuerungen*)

Von **Rudolf Jeschar** und **Norbert Schopf**)**

Einleitung

Man braucht kein „Grüner“ zu sein, um sich mit dem Schutz unserer Umwelt zu beschäftigen. Vielmehr ist Umweltschutz ein Thema, mit dem sich inzwischen alle Gruppen unserer Bevölkerung auseinandersetzen. Es ist deshalb verständlich, daß diese Problematik längst zu einer ernstzunehmenden und vielschichtigen Aufgabe auch für die Wissenschaft geworden ist. Der Grund mag wohl sein, daß wohlhabende Länder reich genug sind, um sich einen verstärkten Schutz ihrer Umwelt leisten zu können. Allerdings produziert Wohlstand auch Umweltprobleme. Auf der anderen Seite scheint es aber tatsächlich fünf vor zwölf zu sein, wenn man z.B. an die nicht abreißende Diskussion um die kranken Wälder im Zusammenhang mit dem sauren Regen denkt, obwohl diese Zusammenhänge nicht ganz geklärt sind.

Es wäre aber ein Irrtum anzunehmen, man könne mit weniger Technik unsere Umweltprobleme lösen. Eher das Gegenteil ist der Fall. Gerade die ärmsten Länder dieser Welt sind es, die in nie gekanntem Ausmaß unsere Umwelt zerstören. Jährlich werden nämlich dort etwa 250.000 km² Waldfläche vernichtet, weil man wegen der rasch wachsenden Bevölkerung Ackerland benötigt oder die letzten Bäume aus Mangel an sonstiger Energie ganz einfach als Heizmaterial zum Kochen verwendet.

Auch unsere Urwälder verschwanden einst aus dem gleichen Grunde. Allerdings konnte man in Mitteleuropa einen ausreichenden Waldbestand erhalten, nachdem seit Mitte des vorigen Jahrhunderts andere Energiequellen, nämlich Kohle und schließlich Erdöl, Erdgas und Kernenergie zur Verfügung stehen. Es sei die Frage erlaubt, was wohl von unseren Wäldern übrig geblieben wäre, wenn wir diese Energiequellen nicht gehabt hätten. Wenn nun ausgerechnet durch die Nutzung dieser fossilen Ersatzbrennstoffe, so möchte ich sie bezeichnen, unsere Wälder bedroht werden, so darf dies uns eigentlich nicht allzu sehr beunruhigen, weil wir inzwischen die Wirtschaftskraft und auch die Phantasie besitzen, um in angemessener Zeit geeignete Technologien zur Vermeidung derartiger Schäden bereitzustellen. Man könnte sich höchstens fragen, warum eine derartige Entwicklung nicht schon früher eingeleitet wurde. Es ist nun aber eine altbekannte Tatsache, daß sich Politik, Wissenschaft und Wirtschaft vielen Aufgaben erst dann annehmen, nachdem die Bevölkerung eine entsprechende Bewußtseinsreife

*) Vortrag von R. Jeschar auf der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft (BWG am 15. Juni 1985 in Clausthal-Zellerfeld.

**) Prof. Dr.-Ing. R. Jeschar und Dipl.-Ing. N. Schopf, Institut für Energieverfahrenstechnik der TU Clausthal, Agricolastraße 4, 3392 Clausthal-Zellerfeld.

erlangt hat, und bereit ist, die sich daraus ergebenden wirtschaftlichen Belastungen mitzutragen.

Dabei ist das Problem der Waldschädigung, z. B. durch schwefelhaltige Abgase seit langem bekannt. Professor Karl Schnabel, der von 1875–1900 an der damaligen Bergakademie das Fach Metallhüttenwesen lehrte und auch viele schöne Studentenlieder gedichtet hat, schreibt in einem seiner Verse:

„Es ragen dunkle Tannen zum Himmel ohne Zahl,
und weißer Nebel hebt sich empor aus diesem Tal,
er riecht so schwefelig sauer und tötet Baum und Strauch,
das ist des Harzes Herold, der ‚bied’re Hüttenrauch‘!
Kein Mensch kann ihm entfliehen!
Ein jeder muß daran riechen!
Und räuspern sich und pusten
und fluchen laut und husten.“

Solange es sich nur um ein lokal begrenztes Problem gehandelt hat, wurde also die Schädigung der Bäume sogar romantisch besungen.

Viele Industriebilder aus dieser Zeit zeigen aus der gleichen Einstellung heraus fast immer rauchende Schlote. Auch das Wappen der alten Bergakademie und heutigen Technischen Universität Clausthal zeigt eine solche Rauchfahne über einem Schacht-ofen.

Umweltbelastungen stehen also vor allem im Zusammenhang mit der Nutzung von Energie. Das ist möglicherweise auch ein Grund, warum Prometheus an den Kaukasus geschmiedet wurde, nachdem er das Feuer vom Himmel geholt und den Menschen auch noch den Gebrauch des Feuers gelehrt hatte. Entgegen der griechischen Göttersage muß er sich auch heute noch dort befinden und wird wohl noch lange auf seine Begnadigung warten müssen.

Dabei denke ich auch daran, daß derzeit 95% der Luftschadstoffe wie CO, SO₂, NO_x und Kohlenwasserstoffe aus Feuerungen einschließlich der Wärmekraftmaschinen stammen. Zu einem ernststen Problem sind aber diese Schadstoffe natürlich erst mit dem überaus starken Anstieg des Energieverbrauchs geworden, wie dies anhand einiger Bilder verdeutlicht werden soll.

Energieverbrauch und Schadstoffemissionen

Die Entwicklung des gesamten Primärenergieverbrauches der Welt in den letzten einhundert Jahren ist in *Bild 1* [1,2] dargestellt. Man erkennt den steilen Anstieg mit durchschnittlich 5% pro Jahr, was eine Verdoppelung innerhalb von 14 Jahren bedeutet. Während der Weltkriege und der Weltwirtschaftskrise sind deutliche Einbrüche zu erkennen. Der Anstieg des Primärenergieverbrauches wird in Zukunft aufgrund energietechnischer Optimierungen nicht in der gleichen Weise fortschreiten. Dennoch wird bis zum Jahre 2010 eine Verdoppelung von heute 10 Mrd. t SKE auf dann 20 Mrd. t SKE

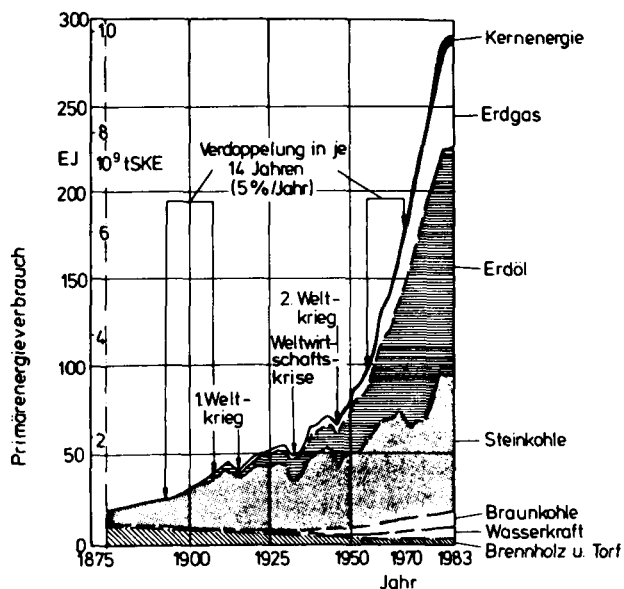


Bild 1:
Primärenergieverbrauch der Welt von 1875 bis 1983 [1, 2]

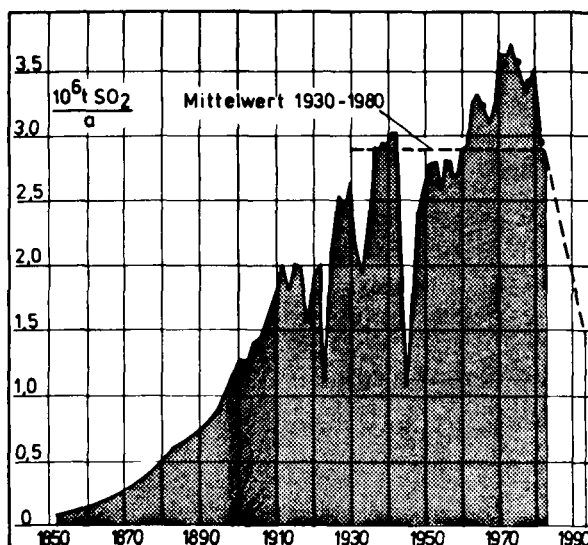


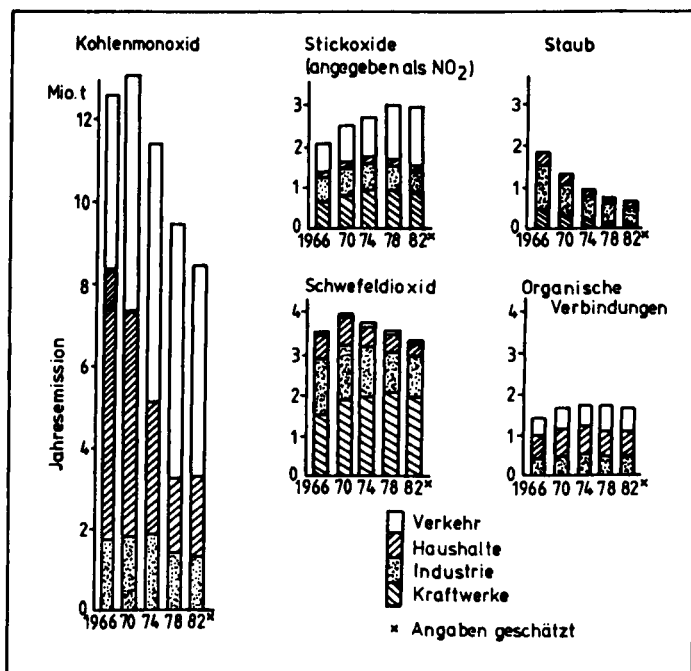
Bild 2:
Schwefeldioxid-Emissionen für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland [3]

erwartet, der im wesentlichen auf den enormen Nachholbedarf der sogenannten „unterentwickelten“ Länder zurückzuführen ist.

Da eine deutliche Verschiebung vom Primärenergieträger Kohle weg hin zu Erdöl und Erdgas stattgefunden hat (Bild 1), ist der Anstieg der Schwefeldioxidemissionen, in Bild 2 dargestellt für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland, seit Mitte der 60er Jahre weniger ausgeprägt [3]. Tendenziell ist jedoch bei SO_2 , das hier stellvertretend für alle gasförmigen Luftschadstoffe steht, der Verlauf der gleiche wie bei dem Primärenergieverbrauch. Durch das Inkrafttreten der Verordnung für Großfeuerungsanlagen [4] wird die SO_2 -Belastung der Umwelt in der Mitte der 90er Jahre auf den Stand von 1910 zurückgegangen sein.

Bild 3 zeigt die Entwicklung der Jahresemissionen in der Bundesrepublik Deutschland seit 1966 unterteilt nach Verbrauchergruppen. Auf die Emissionen von Staub und Kohlenwasserstoffen wird in diesem Beitrag nicht näher eingegangen.

Das Kohlenmonoxid stammt zum überwiegenden Teil aus Kraftfahrzeugmotoren, der Rest zu etwa gleichen Teilen aus Haushalts- und Industrief Feuerungen. Durch die Einführung der Katalysatortechnik bei Kraftfahrzeugen wird diese Schadstoffkomponente in Zukunft deutlich abnehmen. Ähnliches kann für Stickoxide angenommen werden, die zu etwa $\frac{3}{4}$ aus Kraftfahrzeugen plus Kraftwerken stammen.



Quelle: Umweltbundesamt Berlin 1983

Bild 3:

Entwicklung der Jahresemissionen in der Bundesrepublik Deutschland

Der Anteil der Schwefeldioxidemissionen aus Kraftwerken wird, wie bereits erwähnt, ebenfalls deutlich abnehmen. Dagegen werden Emissionsgrenzen für kleine bis mittelgroße Industriefeuerungen erst durch die in Kürze bevorstehende Novellierung der TA Luft festgelegt werden. Die im Entwurf vorgeschlagenen Grenzwerte sind jedoch in der Regel so hoch, daß in diesem Bereich noch keine deutliche SO_2 -Minderung in Sicht ist. Dies hängt im wesentlichen damit zusammen, daß für diese Anlagen-Größen die bisher zur Verfügung stehenden Entschwefelungsverfahren einen nicht zu verantwortenden Investitionsaufwand erfordern würden.

Einen Auszug aus der schon mehrfach genannten Großfeuerungsanlagen-Verordnung zeigt die Tabelle in Bild 4. Sie gilt für Feuerungen mit einer Leistung von mindestens 50 MW thermischer Leistung. Für die größten kohlebefeuerten Anlagen mit einer Leistung von mehr als 300 MW werden demnach nur noch $400 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ Abgase zugelassen. Für die mittelgroßen Einheiten werden Werte von höchstens $2000 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ gefordert. Die zulässigen Werte für Kraftwerke mit flüssigen Brennstoffen sind der Spalte rechts daneben zu entnehmen. Die entsprechenden Werte für Altanlagen stehen im rechten Teil dieser Tabelle. Für diese Betriebe wird allerdings eine Übergangszeit von 5 Jahren eingeräumt. In der unteren Spalte sind schließlich die derzeit zulässigen Werte für NO_x angegeben. Auf der Umweltministerkonferenz am 5. April 1984 sind jedoch schon wesentlich geringere Grenzwerte zur Verminderung der Stickstoffoxidemissionen beschlossen worden [5]. Sie besitzen jedoch noch keine Gesetzeskraft. Welche technischen und finanziellen Anstrengungen erforderlich sind, um diese Werte zu erreichen, erkennt man, wenn man sich klarmacht, daß die derzeitigen SO_2 -Gehalte im Abgas von kohlebefeuerten Großkraftwerken zwischen 2500 und 7000 mg/m^3 liegen. Es wird also eine Reduzierung bis auf 95%, bezogen auf die jetzigen Maximalwerte, verlangt. In welcher Weise dadurch die Stromerzeugungskosten erhöht wer-

		Neuanlagen für		Altanlagen für *)	
		feste Brennstoffe	flüssige Brennstoffe	feste Brennstoffe	flüssige Brennstoffe
SO_2	> 300 MW (therm.)	400 sowie 85% Minder.	400 sowie 85% Minder.	400 sowie 85% Minder**	400 sowie 85% Minder.**)
	100 bis 300 MW (therm.)	2000 sowie 60% Minder.	1700 sowie 60% Minder.	2500	2500
	50 bis 100 MW (therm.)	2000***)	1700	2500	2500
NO_x (gerechnet als NO_2)				1000 1300**)	700 2000*)
		*) Schmelzfeuerungen **) Kohlenstaubfeuerungen mit trockenem Ascheabzug ***) Wirbelschichtfeuerungen: 400 oder 75% Minder. *) Die Grenzwerte sind spätestens 5 Jahre nach Inkrafttreten der VO einzuhalten **) Für Anlagen, die länger als 30000 h betrieben werden sollen			

Emissionsgrenzwerte der „Verordnung über Großfeuerungsanlagen“.

Angaben in mg/m^3 (i. N. tr.) bei je nach Anlagentyp festgelegtem O_2 -Gehalt.

Bild 4:

Auszug aus der Verordnung über Großfeuerungsanlagen [4]

den, hängt im wesentlichen von den Betriebsstunden der Kraftwerke ab. So werden sich für einen 750 MW-Block bei 3000 h/a die spezifischen Stromkosten zwischen 1,2 und 1,8 Dpf/kWh, bei 6000 h/a jedoch nur noch zwischen 0,86 und 1,1 Dpf/kWh erhöhen [6]. Die Kosten für die NO_x -Abscheidung können zur Zeit noch nicht abgeschätzt werden.

Technik der Entschwefelung

Bei der Entschwefelung von Feuerungen kann man grundsätzlich zwei Verfahrensvarianten unterscheiden (Bild 5):

1. Entschwefelung in der Feuerung (Primärentschwefelung)
2. Entschwefelung im Rauchgas (Sekundärentschwefelung).

Bei der nassen Rauchgasentschwefelung wird beispielsweise eine Suspension von Kalksteinmehl in Wasser („Kalkmilch“) in einen innigen Kontakt mit dem Rauchgasstrom gebracht. Das Schwefeldioxid wird ausgewaschen; als Endprodukt erhält man nach einigen Aufbereitungsstufen Gips. Naßverfahren nach dieser oder auch anderen Varianten sind allgemein sehr effektiv. Man erreicht eine bis zu 95%ige Entschwefelung.

Bei den Halbtrockenverfahren wird dem Additiv, in der Regel Kalkhydrat, nur soviel Wasser zugegeben, daß dieses nach Einsprühen der Kalkmilch in den Rauchgasstrom vollständig verdampft. Es fällt also unmittelbar ein festes Produkt (Staub) an, das allerdings nicht wiederverwendet werden kann, sondern deponiert werden muß.

Daneben gibt es noch Trockenverfahren der Rauchgasentschwefelung, bei denen z. B. das SO_2 an Aktivkoks angelagert wird. Als Produkt erhält man beispielsweise Schwefelsäure.

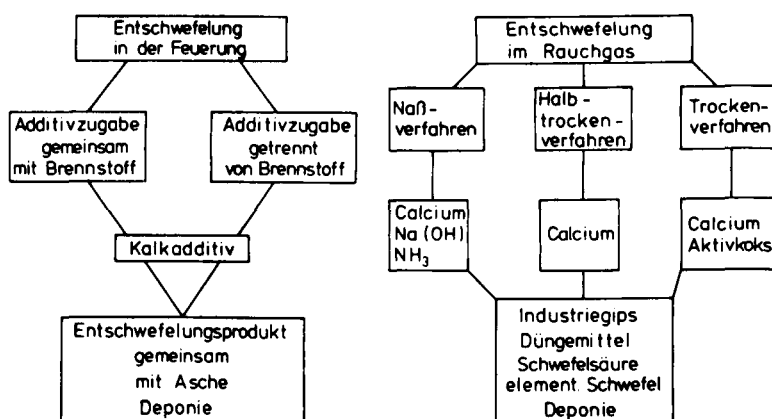


Bild 5:
Stammbaum der Entschwefelungsverfahren von Feuerungen

Alle Verfahren der sekundären Rauchgasentschwefelung erfordern einen hohen Investitionsaufwand. Dieser ist im allgemeinen geringer bei den Verfahren der Primärentschwefelung in der Feuerung. Eine einfache Technik besteht darin, ein geeignetes Additiv gemeinsam mit dem Brennstoff der Feuerung zuzuführen. Untersuchungen dieser Art sind beispielsweise bei den Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerken (RWE) durchgeführt worden, indem der Braunkohle Kalksteinmehl zugemischt wurde [7]. Die Ergebnisse waren jedoch unbefriedigend. Wesentlich günstiger sind die Resultate bei der Wirbelschichtfeuerung, da hier die notwendigen Reaktionsbedingungen besser eingestellt werden können [8]. Doch ist die Wirbelschichttechnologie leider recht aufwendig und entsprechend teuer.

Es zeigt sich, daß alle bisherigen Entschwefelungsverfahren für Feuerungen kleiner bis mittlerer Größen entweder zu teuer sind oder keine ausreichende Wirkung haben. Aus diesem Grunde wird am Institut für Energieverfahrenstechnik der Technischen Universität Clausthal eine entsprechende Entwicklung durchgeführt. Es handelt sich um eine Entschwefelung in der Feuerung. Die Wirksamkeit dieser Primärentschwefelung reagiert sehr empfindlich auf die thermischen Bedingungen des Prozesses, die bei der Entwicklung zu berücksichtigen sind. Daher werden im folgenden zunächst die erforderlichen Grundlagen kurz dargestellt.

Grundlagen zur Heißentschwefelung

An dieser Stelle sollen kurz die Vorgänge bei der Entschwefelung mit Kalkadditiven im Bereich hoher Temperaturen zusammengefaßt werden. *Bild 6* zeigt die Bruttogleichungen für die drei Additive Kalkstein, gebrannter Kalk und Calciumhydroxid, die bei diesen Verfahren ausschließlich eingesetzt werden. Gebrannter Kalk verbindet sich direkt zum Sulfat. Die beiden anderen Additive werden dagegen zunächst unter Wärmeverbrauch zum CaO zersetzt und reagieren dann wie vorher. Am kostengünstigsten ist die Entschwefelung mit Kalkstein.

Die thermodynamischen Bedingungen für den günstigsten Temperaturbereich entnimmt man *Bild 7*. Links im Bild sind die sogenannten Zersetzungsgleichgewichte dargestellt. Geht man davon aus, daß der CO₂-Gehalt der Verbrennungsgase im Feuer-

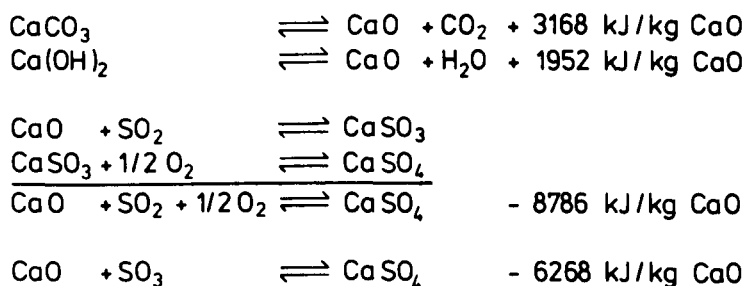


Bild 6:

Reaktionen von SO₂ mit Kalkstein (CaCO₃), Kalkhydrat (Ca(OH)₂) und Kalk (CaO)

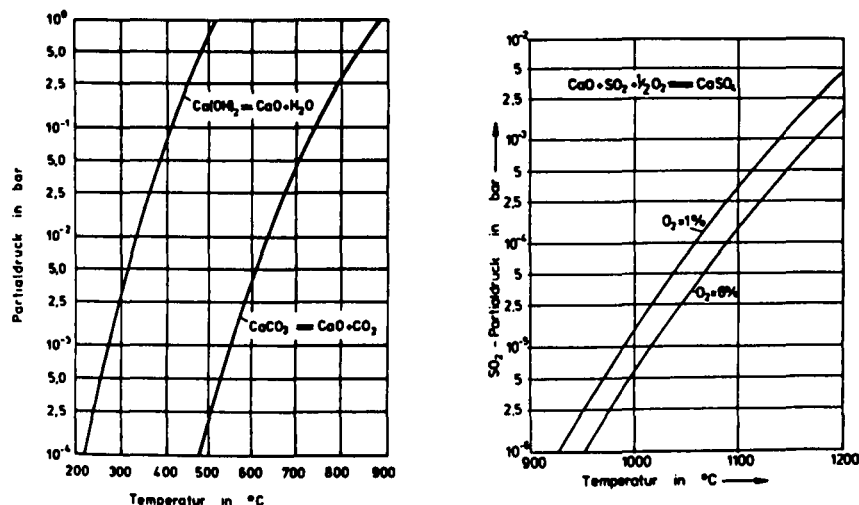


Bild 7:

Gleichgewichtspartialdruck für die Zersetzung von Additiven und Bildung von Sulfat

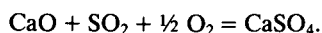
raum etwa 10–15% beträgt, so muß die Temperatur wenigstens 800°C sein, damit z. B. Kalkstein zu CaO zersetzt werden kann, bevor eine Einbindung von SO₂ möglich ist. Demgegenüber zeigt aber das rechte Teilbild, daß sich entsprechend den Schwefelgehalten in Kohlefeuerungen oberhalb von 1200°C das Calciumsulfat wieder zersetzen würde. Da andererseits bei derartig hohen Temperaturen die Oberfläche der CaO-Partikel versintern würde, können diese auch bei einer späteren Abkühlung nur noch wenig Schwefel abbinden. Der Direktentschwefelung in der Feuerung sind also von Haus aus recht enge Temperaturgrenzen zwischen 800 und 1100°C gesetzt.

Anhand einer Modellverstellung soll der Reaktionsablauf der SO₂-Einbindung mit dem Additiv Kalksteinmehl verdeutlicht werden. Ein CaCO₃-Teilchen wird zunächst gemäß der globalen Reaktionsgleichung



entsäuert (Bild 8). Im Verlaufe dieser endothermen Reaktion diffundiert das CO₂ durch die poröse CaO-Schicht in die umgebende Atmosphäre, bis am Ende ein poröses CaO-Partikel vorliegt.

Dieser erste Reaktionsschritt ist vergleichsweise schnell, so daß man sich die exotherme Sulfatationsreaktion gedanklich im Anschluß daran vorstellen kann



Es bildet sich eine dichte Sulfathülle um das Partikel, die mit fortschreitender Reaktionszeit die Diffusion des SO₂ zum verbleibenden CaO-Kern behindert.

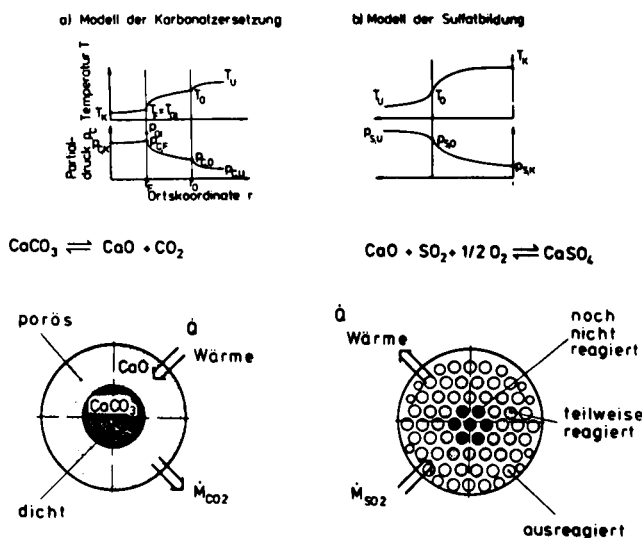


Bild 8:
Zur Kinetik der Entsäuerung und Entschwefelung

Aus den genannten Zusammenhängen ergeben sich unmittelbar die Bedingungen für eine effektive Heißentschwefelung:

1. Einhaltung enger Temperaturgrenzen im Bereich 800–1100°C
2. Verwendung möglichst feinkörniger Additive
3. Gute Dispergierung und Vermischung der Additive im Rauchgas.

Eigenes Heißentschwefelungsverfahren

Bild 9 zeigt die Schnittdarstellung des am Institut für Energieverfahrenstechnik für die Entschwefelungsversuche benutzten Drallbrennkammersystems [9]. Es besteht aus den Hauptkomponenten Drallerzeuger, Brennraum, Brennstofflanze und Anschlußgeometrie.

Die Verbrennungsluft, die je nach Erfordernissen mit einem elektrischen Luftvorwärmer erhitzt werden kann, strömt durch verstellbare Drallklappen mit veränderbarem Winkel in den Drallerzeuger ein. Bis zum Eintritt in den Brennraum wird ihre Axialgeschwindigkeitskomponente durch Verengung des Querschnittes erhöht. Am Brennraumeintritt vermischt sich der durch die zentral angeordnete Brennstofflanze eingebrachte Brennstoff (Erdgas oder mit Preßluft zerstäubtes Heizöl) mit der Luft. Die Verbrennungsreaktion verläuft vollständig innerhalb des Brennraumes.

Die Anschlußgeometrie ist aufgrund strömungstechnischer Erfordernisse notwendig. Die durch sie gegebene unetstetige Querschnittserweiterung am Brennraumaustritt führt dort zu einer Entkopplung zwischen der stromabwärts gerichteten, stark verdrall-

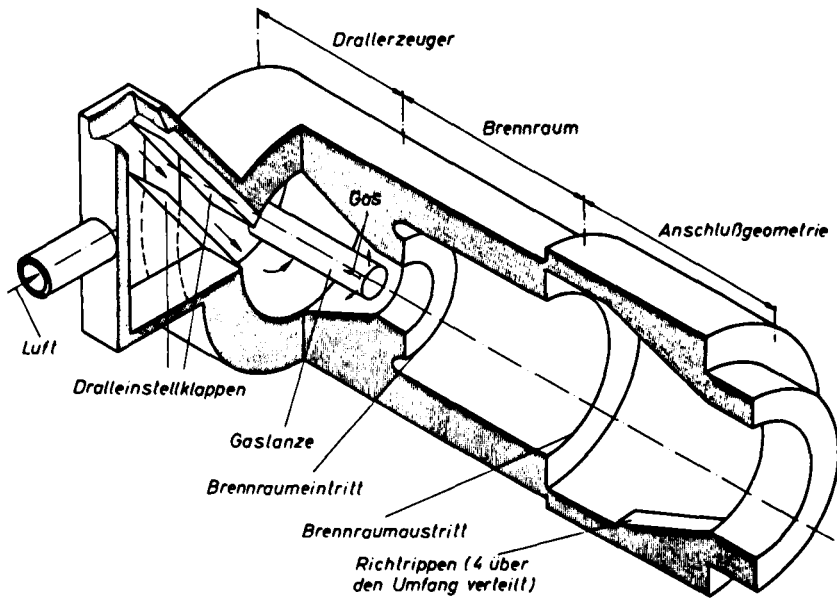


Bild 9:
Drallbrennkammersystem des Instituts für Energieverfahrenstechnik

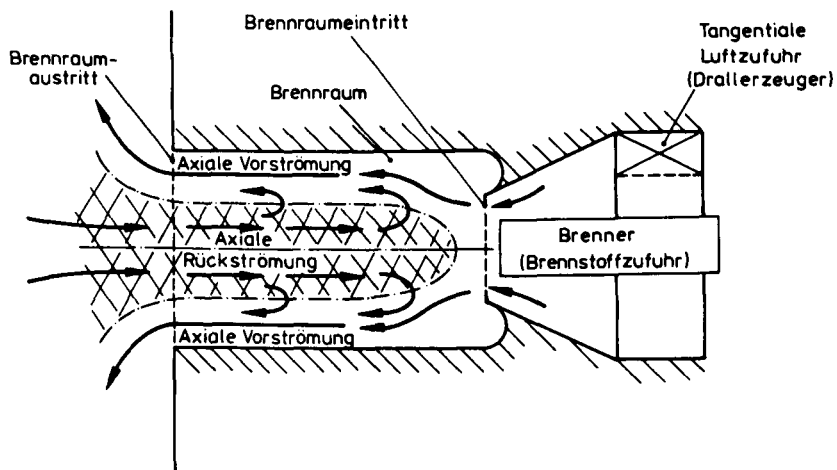


Bild 10:
Strömungsführung im Drallbrennkammersystem

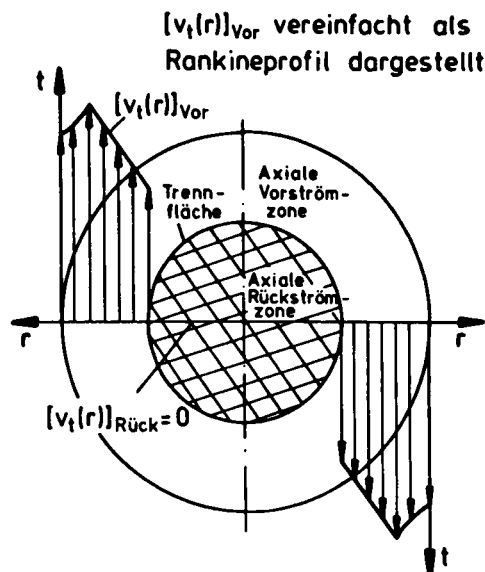


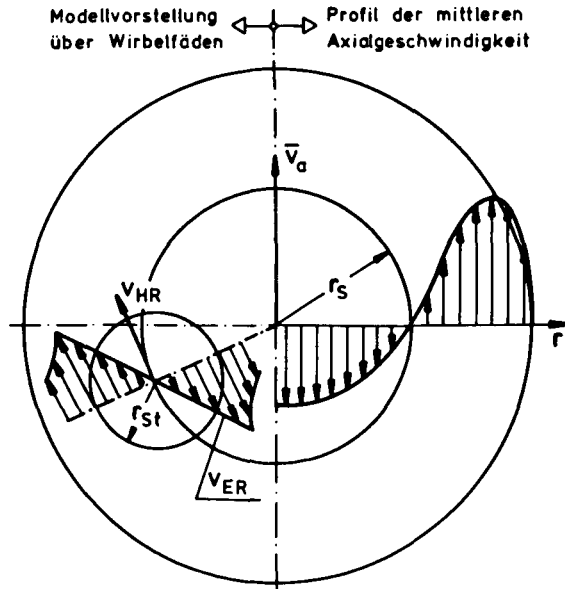
Bild 11:
Tangentialgeschwindigkeitssprung am Brennraumaustritt

ten Strömung und der bei überkritischem Drall sich einstellenden inneren Rezirkulationszone (*Bild 10*), so daß die Rückströmung nahezu unverdrallt in den Brennraum eintritt (*Bild 11*). Dieser große Tangentialgeschwindigkeitsgradient am Brennräumeustritt bewirkt die Ausbildung eines umlaufenden Wirbelfadens, der als zusätzliches vermischungsförderndes Element einen intensiven Stoffaustausch zwischen Vor- und Rückströmung bewirkt (*Bild 12*, [10] bis [14]). Das Drallbrennkammersystem kann also als nahezu idealer hydrodynamischer Rührer angesehen werden.

Wegen der guten Vermischungseigenschaften des Drallbrennkammersystems sind einerseits hohe Energieumsetzungsdichten bei vollständigem Ausbrand möglich (bis zu 20 MW/m^3 bei Erdgas), andererseits führt dies auch zu einer relativ homogenen Temperaturverteilung im gesamten System.

Bild 13 zeigt das Temperaturfeld bei einer Brenneinstellung. Die Maximaltemperaturen von im Beispiel 1175°C treten in einem Ringquerschnitt in der Nähe des Brennraumeintrittes auf. Mit Ausnahme kleiner wandnaher Bereiche sind die niedrigsten Brennraumtemperaturen nur etwa 100°C tiefer. In der gesamten Anschlußgeometrie sind die Temperaturunterschiede ebenfalls gering mit 50°C bis max. 100°C.

Das Drallbrennkammersystem bietet also die Möglichkeit, die Entschwefelung bei relativ definierten Temperaturen zu untersuchen, wobei das Temperaturniveau zur Zeit durch Luftvorwärmung und Luftüberschuß einstellbar ist. Es ist eine Erweiterung der Versuchsanlage in der Hinsicht geplant, daß durch externe Rezirkulation kalter Rauchgase eine Beeinflussung des Temperaturniveaus bei nahstöchiometrischer Verbrennung möglich ist.



- v_{HR} : Hauptrotationsgeschwindigkeit des
Wirbelfadenmittelpunktes
 v_{ER} : Eigenrotationsgeschwindigkeit um
den Wirbelfadenmittelpunkt
 r_{St} : Starrkörperradius des Wirbelfadens

Bild 12:
Modellvorstellung über umlaufende Wirbelfäden

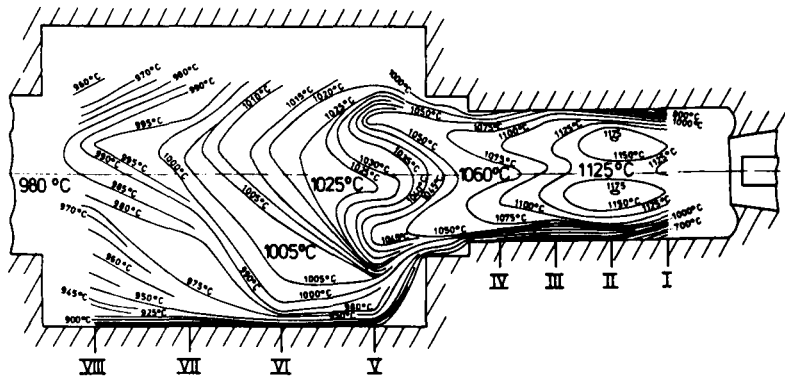


Bild 13:
Temperaturfeld in Brennraum und Anschlußgeometrie

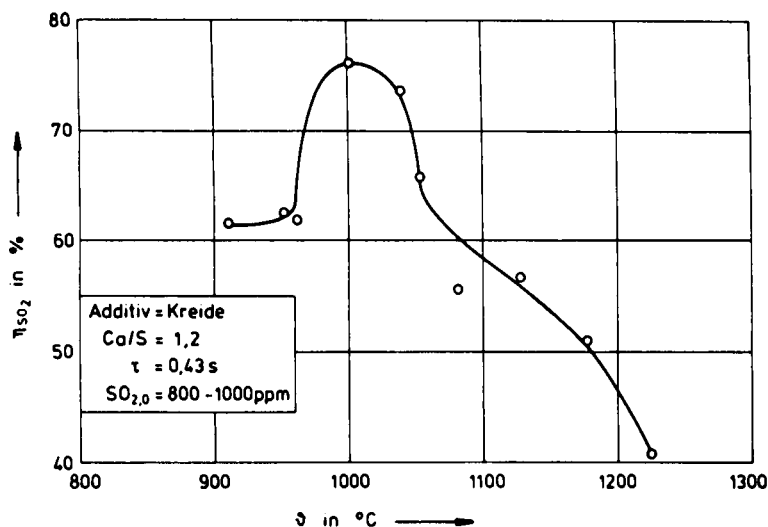


Bild 14:
Einfluß der Temperatur auf den Entschwefelungsgrad

Für die Versuche zur Heißentschwefelung werden die Additive an der mit V bezeichneten Position (Bild 13) radial mit Transportluft in die Anschlußgeometrie eingedüst. Zur Dosierung wird ein am Institut für Mechanische Verfahrenstechnik der TU Clausthal von Prof. Leschonski entwickeltes System (RODOS) verwendet, das auch für eine gute Dispergierung der Partikel sorgt [15].

Im folgenden werden Ergebnisse von Entschwefelungsversuchen SO_2 -dotierter Erdgasflammen wiedergegeben und mit Literaturangaben verglichen. Die mittlere Verweilzeit im Reaktionsraum liegt bei allen Versuchen zwischen 0,4 und 0,5 s.

Für das Additiv Kreidekalkstein ist in Bild 14 der Entschwefelungswirkungsgrad als Funktion der Temperatur dargestellt. Es existiert ein ausgeprägtes Maximum im Bereich um 1000°C. Bei niedrigeren Temperaturen nehmen die Geschwindigkeiten der Entsäuerungs- und Sulfationsreaktion ab. Der schlechtere Umsatz bei Temperaturen oberhalb von etwa 1050°C ist auf eine zunehmende Verschiebung der Gleichgewichtslage der Sulfationsreaktion sowie bei noch höheren Temperaturen auch auf eine Ansinterung der Partikeloberfläche zurückzuführen. Aus Gleichgewichtsgründen müßte die Entschwefelung bei der hier gewählten Anfangskonzentration von etwa 1000 ppm SO_2 oberhalb von 1170°C gegen null gehen. Daß dies bei den Messungen nicht der Fall ist, hängt damit zusammen, daß von der Temperaturmeßstelle bis zum Austritt aus dem Reaktionsraum noch ein Temperaturabfall von 50 bis 100°C auftritt, der Reaktor also nicht exakt isotherm im wissenschaftlichen Sinne ist.

In Bild 15 sind mit Kalziumkarbonat einer Partikelgrößenklasse 90% kleiner 40 μm bei verschiedenen Temperaturen erzielte Entschwefelungswirkungsgrade als Funktion

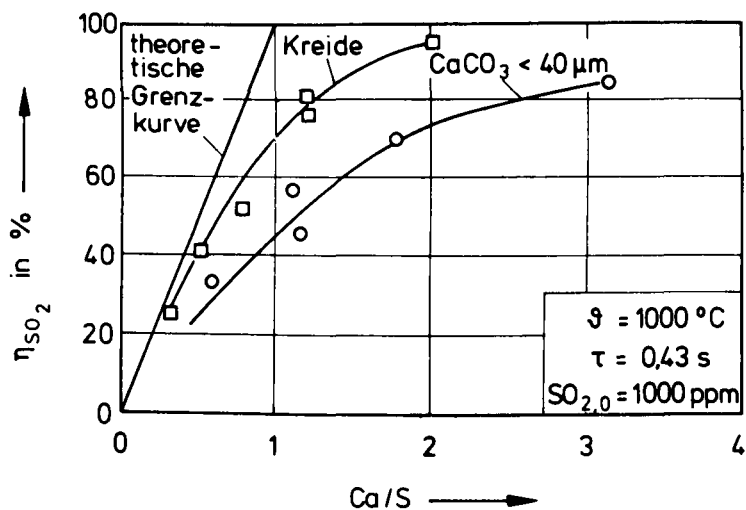


Bild 15:

Einfluß des molaren Ca/S -Verhältnisses und einer mittleren Reaktortemperatur auf die Entschwefelung mit Kalksteinmehl

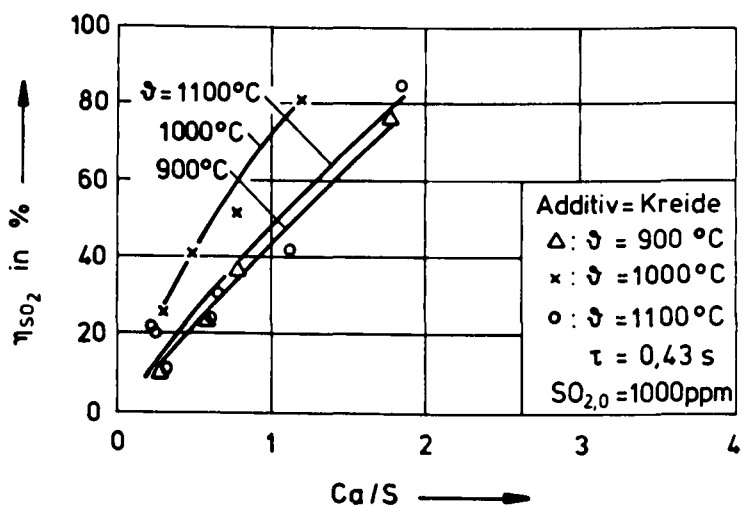


Bild 16:

Einfluß des molaren Ca/S -Verhältnisses und einer mittleren Reaktortemperatur auf die Entschwefelung mit Kreide

des molaren Ca/S-Verhältnisses dargestellt. Die Wirksamkeit dieses Additives ist bei 1000°C wesentlich besser als bei 900°C und 1100°C. Die maximale Entschwefelung beträgt etwa 50% bei einem Ca/S-Verhältnis von eins; mit einem Ca/S-Verhältnis von zwei werden etwa 70% erreicht.

Die in *Bild 16* als Funktion des Ca/S-Verhältnisses dargestellten Entschwefelungswirkungsgrade für eine Kreide mit gegenüber dem Kalksteinmehl wesentlich kleinerer Partikelgrößenverteilung (etwa 90% < 15 µm) zeigen ebenfalls bei 1000°C deutlich bessere Werte als bei 900°C bzw. 1100°C. Mit diesem Additiv ist bei stöchiometrischem Einsatz (Ca/S=1) eine 70%ige Entschwefelung erzielt worden.

In *Bild 17* sind die jeweils für 1000°C erzielten Entschwefelungswirkungsgrade für das Kalksteinmehl < 40 µm und die Kreide gegenübergestellt. Aufgrund der geringeren Korngröße und der größeren Porosität ist die Kreide als Additiv zur Heißentschwefelung im untersuchten System besser geeignet.

In *Bild 18* sind die am Institut für Energieverfahrenstechnik mit Kreide und Kalksteinmehl bei jeweils optimaler Reaktionstemperatur erreichten Entschwefelungswirkungsgrade mit Literaturwerten von halbertechnischen und großtechnischen Versuchen verglichen [7, 8, 17]. Die Dosierung von Kalkhydrat $\text{Ca}(\text{OH})_2$ zur Braunkohle eines Kraftwerkkesels (Versuchspunkte 7 bis 10 in *Bild 18*) liegen im Bereich der am Institut für Energieverfahrenstechnik gefundenen Ergebnisse. Die meisten anderen Werte liegen deutlich darunter. Dies ist mit den nicht optimalen Reaktionsbedingungen bezüglich der Temperaturführung und der makroskopischen Vermischung der Reaktionspartner zu erklären.

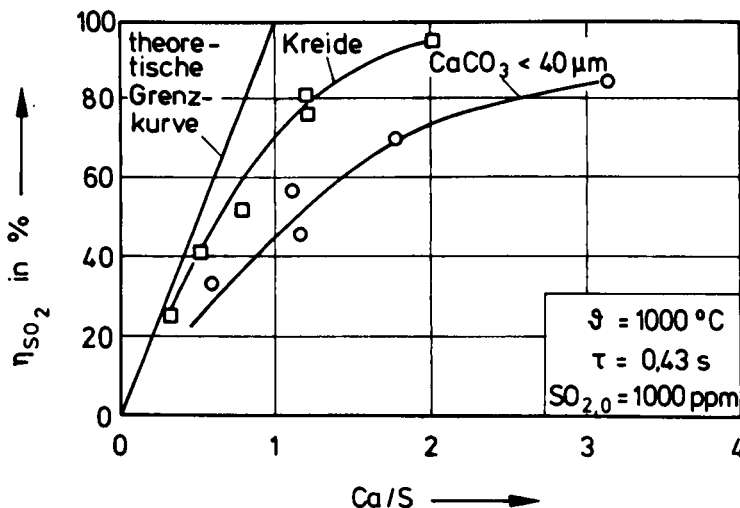


Bild 17:

Mit Kalksteinmehl und Kreide erreichte Schwefeldioxideinbindungen im Drallbrennkammersystem

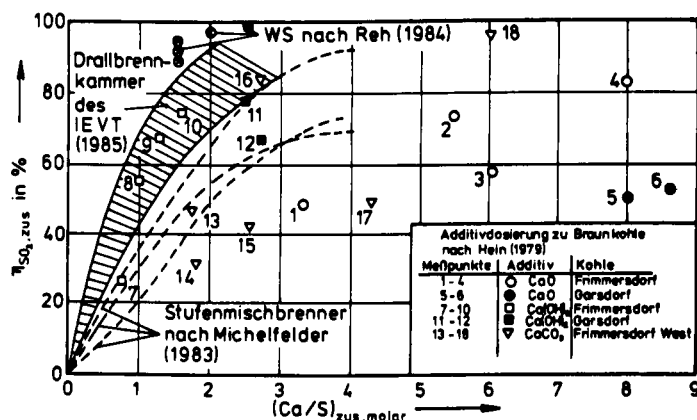


Bild 18:

Vergleich der Schwefeldioxydeinbindungen im Drallbrennkammersystem mit Schrifttumsangaben [7, 8, 17]

Die Versuchspunkte 19 bis 23 in Bild 18, die in einer Wirbelschichtfeuerung erzielt wurden, zeigen nur eine geringfügig höhere Entschwefelung, als wir sie in unseren eigenen Versuchen bisher erhalten haben. Dies deutet darauf hin, daß im untersuchten Drallbrennkammersystem nahezu die gleichen optimalen Vermischungs- und Temperaturbedingungen herrschen wie in einem Wirbelschichtreaktor.

Ansätze zur Minderung der Stickstoffoxidemissionen von Feuerungen

NO_x-Emissionen können prinzipiell auf zweierlei Art reduziert werden: Zum einen durch geeignete Reaktionsführung, wobei die Stickstoffoxidbildung unterdrückt werden kann, und zum anderen durch der Verbrennung nachgeschaltete Anlagen wie zum Beispiel die selektive katalytische Reduktion (SCR-Verfahren). Auf letztgenannte Verfahren wird hier nicht näher eingegangen.

Um die NO_x-Bildung durch die Reaktionsführung gezielt reduzieren zu können, ist es notwendig, zunächst die Bildungsmechanismen von Stickstoffoxiden in Flammen zu studieren. Die verschiedenen NO_x-Bildungsmechanismen sind abhängig von der Stickstoffquelle und dem Bereich der Flamme, in dem sie ablaufen (Reaktionsmedium, siehe Bild 19). Bildet sich Stickstoffoxid in der Zone der Reaktionsprodukte aus Luftstickstoff, so wird aufgrund der dafür benötigten hohen Reaktionstemperaturen ($\vartheta > 1300^\circ\text{C}$) von „thermischem“ NO gesprochen. Oxidiert aus dem Brennstoff stammender Stickstoff in der Flammenfront, bezeichnet man dies als „Brennstoff“-NO-Bildung. Das sogenannte „Prompt“-NO entsteht durch die Oxidation von Luftstickstoff in der Flammenfront und läßt sich deshalb als spezielle Art des „Brennstoff“-NO-Mechanismus auffassen.

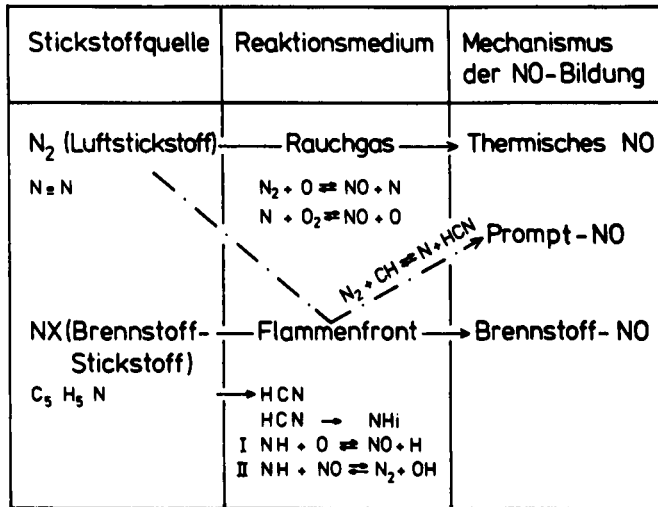


Bild 19:
Schematische Darstellung der NO-Bildungsmechanismen

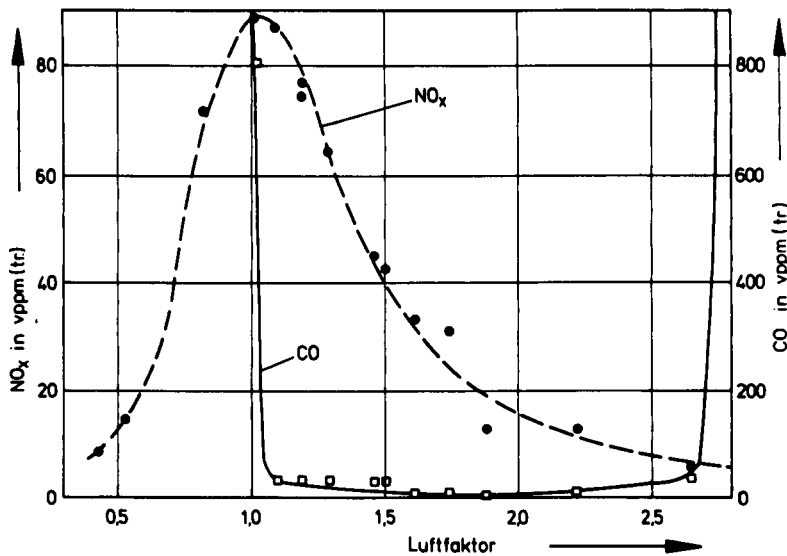


Bild 20:
Einfluß des Luftfaktors auf die NO_x - und CO-Konzentration einer einstufigen Erdgasflamme

Während für die „thermische“ NO-Bildung Temperatur und Verweilzeit als wichtigste Einflußgrößen angesehen werden, ist für die NO-Bildung aus brennstoffgebundenem Stickstoff vor allem der Sauerstoffpartialdruck beziehungsweise der Luftüberschuß in der Verbrennungszone die bestimmende Größe. Die nach dem „Prompt“-NO-Mechanismus gebildete Stickoxidmenge ist vergleichsweise gering.

Daher bieten sich für die technische Realisierung eines NO_x -armen Brenners folgende Möglichkeiten an:

- zwei- oder mehrstufige Verbrennung mit Wärmeauskopplung, wobei die erste Stufe stark unterstöchiometrisch betrieben wird (Luftzahl $< 0,8$),
- konstruktive Maßnahmen am Brenner mit dem Ziel, eine gewisse Stufung der Luftzuführung zu erreichen; auch gezielte Brennstoffeindüsung in die heiße innere Rezirkulationszone einer Drallflamme fällt unter diese Maßnahmenkategorie.

Für eine einstufige Erdgasflamme in dem Drallbrennkammersystem des Instituts für Energieverfahrenstechnik, bei der nur „thermisches“ NO auftreten kann, sind in *Bild 20* gemessene NO_x - und CO-Konzentrationen über dem Luftfaktor λ aufgetragen. Man erhält den typischen NO_x -Verlauf mit einem Maximum bei λ etwa 1 wegen der hier auftretenden höchsten Temperaturen. Die NO_x -Konzentrationen sind aufgrund der gleichmäßigen Temperaturverteilung auf niedrigem Temperaturniveau für eine einstufige Erdgasflamme ohne durchgeführte Minderungsmaßnahmen niedrig. Die CO-Meßwerte steigen nahe $\lambda = 1$ in bekannter Weise stark an. Auch bei zu hohen Luftfaktoren verschlechtert sich der Ausbrand rapide, weil nämlich dann die Brennraumtemperatur etwa 800°C unterschreitet.

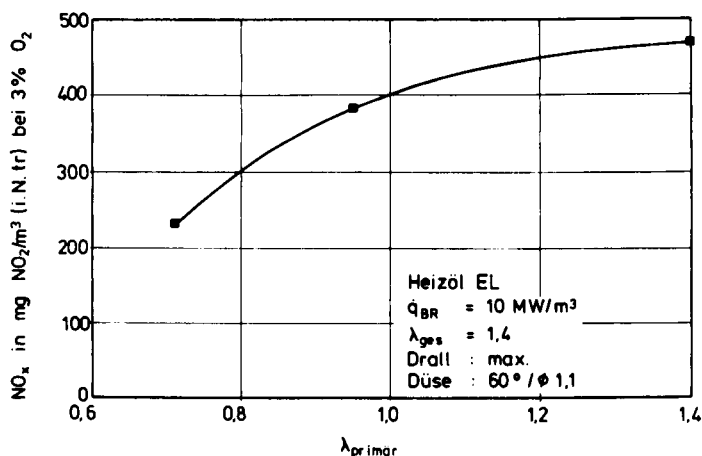


Bild 21:
 Einfluß der Luftstufung auf die NO-Bildung bei einer Heizöl-EL-Flamme

Wie bei konstanten Gesamtluftfaktoren durch eine gestufte Verbrennungsluftzufuhr die NO_x -Emission bei der Verbrennung von Heizöl EL beeinflusst werden kann, ist *Bild 21* zu entnehmen. Eine Aufteilung der Verbrennungsluft von 50% durch den Drallerzeuger und 50% tangential am Beginn der Anschlußgeometrie bewirkt eine etwa 50%ige NO_x -Minderung. Bei den bisher realisierten Stufungsverhältnissen ist die Flamme völlig stabil und die CO-Emissionen zeigen keinen signifikanten Anstieg.

Prinzip eines Direktentschwefelungsverfahrens mit dem Drallbrennkammersystem

Mit *Bild 22* wird abschließend gezeigt, wie der neue Reaktortyp Drallbrennkammersystem in eine mit festen Brennstoffen beheizte Kesselanlage integriert werden könnte. Da zu erwarten ist, daß die einzelnen Kohlekörner in der relativ kleinen Brennkammer nicht vollständig ausbrennen, wird der Drallbrennkammer ein Stromreaktor nachgeschaltet und nach einer Heißentstaubung an den eigentlichen Kessel angeschlossen. Die Zugabe von Kalksteinmehl als Additiv erfolgt unmittelbar am Ende der Brennkammer im Bereich der sogenannten Anschlußgeometrie, von wo aus der Kalk zunächst in den isothermen Bereich der Brennkammer eingesaugt wird. Etwa an der gleichen Stelle wird auch ein Teil des rückgeführten Staubes zugeführt, falls dies zur Verbesserung des Ausbrandes erforderlich sein sollte. Die Verbrennungsluft wird, wie vorher schon ausgeführt, mit einem entsprechend starken Drall zugeführt. Abhängig von der gewünschten Reaktortemperatur wird eine mehr oder weniger große Menge an Rauchgas vom kalten Ende der Kesselanlage zurückgeführt. Gleichzeitig wird aber,

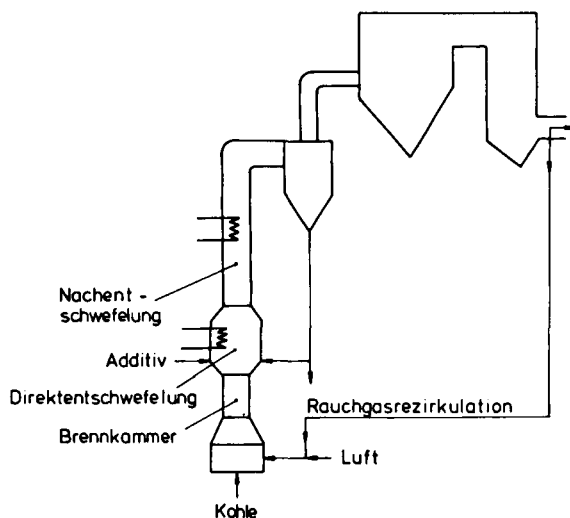


Bild 22:
Verfahrensschema einer Direktentschwefelung mit dem Drallbrennkammersystem des Instituts für Energieverfahrenstechnik

wie in diesem Bild angedeutet, zur Absenkung der Reaktortemperatur im Bereich der Anschlußgeometrie Wärme aus dem System ausgekoppelt. Es bleibt abzuwarten, ob mit der so konzipierten Anlage auch bei Kohle als Brennstoff ähnlich hohe Entschwefelungsgrade erreichbar sind, wie sie an Wirbelschichtfeuerungen gemessen wurden. Es stünde dann ein Entschwefelungsverfahren für kleinere Leistungen zur Verfügung, das eine relativ kostengünstige Entschwefelung, vor allem auch für Altanlagen, gestatten würde. In einer späteren Entwicklungsstufe wäre dann gegebenenfalls daran zu denken, eine Anwendung auch für größere Anlagen zu prüfen.

Zusammenfassung

Ausgehend von einem Überblick über die Entwicklung des Energieverbrauchs und des damit verbundenen Anstiegs des Schadstoffausstoßes, werden neben Primärmaßnahmen zur Stickstoffoxidminderung insbesondere Möglichkeiten zur Reduzierung von Schwefelemissionen diskutiert. Grundsätzlich hat man hierbei zwischen solchen Verfahren zu unterscheiden, bei denen die Entschwefelung durch Zugabe von Additiven am kalten Ende einer Feuerung erfolgt und solchen, bei denen die Additive direkt in den Feuerraum eingebracht werden. Kostengünstiger wären in jedem Falle die letztgenannten Verfahren. Da diese aber mit Ausnahme des Wirbelschichtverfahrens noch nicht genügend leistungsfähig sind, haben sich vorerst die kostenintensiveren Naßverfahren zur Rauchgasentschwefelung durchgesetzt. Es erscheint aber aussichtsreich, Verfahren zur Heißentschwefelung zu entwickeln, die denen der Rauchgasentschwefelung technisch gleichwertig, aber erheblich wirtschaftlicher sind. An einem solchen Verfahren, das hier vorgestellt wurde, wird derzeit am Institut für Energieverfahrenstechnik gearbeitet. Es besteht im wesentlichen aus einer Drallbrennkammer, einem nachgeschalteten Entschwefelungsreaktor und einer anschließenden Heißentstaubung. Nach diesem Verfahren werden bei den bisher an SO_2 -dotierten Erdgasflammen durchgeführte Versuche ähnlich hohe Entschwefelungswerte wie bei Wirbelschichtfeuerungen erreicht. Es bleibt abzuwarten, wie sich in diesem Reaktortyp die Entschwefelung von Kohle- und Schwerölflammen verhält. Bei entsprechend günstigen Ergebnissen könnte dann dieses Reaktorsystem ohne hohe Kosten an vorhandene Kesselanlagen angeflanscht werden. Dabei wird insbesondere an eine Umrüstung von Altanlagen kleinerer Baugröße gedacht.

Schrifttum

- [1] Schaefer, H.: Struktur und Analyse des Energieverbrauches in der Bundesrepublik Deutschland. Technischer Verlag Resch, München 1980.
- [2] Grathwohl, M.: Energieversorgung, Ressourcen, Technologien, Perspektiven. 2. Auflage, Berlin, New York 1983.
- [3] Trockenperioden gefährden den Wald. VDI-Nachrichten Nr. 43 / 26. Oktober 1984, S. 29.
- [4] Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungsanlagen) vom 22. Juni 1983. BGBl. I (1983), S. 719.

- [5] Minderung der Stickstoffoxidemissionen aus Großfeuerungsanlagen. Beschluß der Umweltministerkonferenz vom 5. April 1984, BMI-Umwelt (1984), Nr. 102, S. 27–28.
- [6] Richter E.: Der technische Stand der Rauchgasentschwefelung in der Bundesrepublik Deutschland. Umwelt 3 (1984), S. 191–205.
- [7] Hein, K. und Schiffers, A.: Verbesserung der natürlichen Schwefeleinbindung bei der Verfeuerung rheinischer Braunkohle. Brennstoff-Wärme-Kraft 31 (1979) 10, S. 389–391.
- [8] Reh, L.: Neue für die Kalkindustrie bedeutende verfahrenstechnische Entwicklung im Umweltschutz. Lurgi Umwelt- und Chemotechnik GmbH; Vortragsmanuskript anlässlich der 30. Sitzung des Technischen Ausschusses des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie e. V. am 18. 1. 1983 in Köln.
- [9] Carlowitz, O., Jeschar, R.: Entwicklung eines variablen Drallbrennkammersystems zur Erzeugung hoher Energieumsetzungsdichten. Brennstoff-Wärme-Kraft 32 (1980), S. 495–502.
- [10] Carlowitz, O., Scholz, R., Jeschar, R.: Vereinfachte Berechnung von Wirbelfäden zur Erzeugung freier Turbulenz in Mischkammern. Abhandlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, Band XXXI, Verlag Erich Goltze GmbH & Co. KG, Göttingen (1980).
- [11] Carlowitz, O., Jeschar, R.: Zur Entstehung, Beeinflussung und Wirkungsweise von Wirbelfäden in Zyklonbrennkammer. VDI-Bericht Nr. 346 (1979), S. 241–252.
- [12] Carlowitz, O.: Modellversuche zur gezielten Beeinflussung der Strömung in einer Zyklonbrennkammer. Dissertation Technische Universität Clausthal (1978).
- [13] Carlowitz, O., Scholz, R., Jeschar, R.: Modellvorstellung über die Wirkungsweise von Wirbelfäden zur Erhöhung der Verbrennungsdichte in einer Zyklonbrennkammer. Chemie-Ing. Techn. 50 (1978), S. 716–717.
- [14] Scholz, R., Carlowitz, O., Jeschar, R.: Untersuchung zur Beeinflussung der Strömung in einer Zyklonbrennkammer zur thermischen Nachverbrennung. Gas-Wärme-Inter. 26 (1977), Nr. 1.
- [15] Leschonski, K., Röthele, S., Menzel, U.: A Special Feeder for Diffraction Pattern Analysis of Dry Powders. Part. Charact. I (1984), S. 161–166.
- [16] Jeschar, R., Scholz, R., Schopf, N.: Heißentschwefelung in Drallbrennkammersystemen und einem isothermen Rohrreaktor. VDI-Bericht Nr. 574 (1985), S. 673–678.
- [17] Chughtai, M. Y., Michelfelder, S.: Schadstoffeinbindung durch Additiveinblasung um die Flamme. Brennstoff-Wärme-Kraft 35 (1983), S. 75–83.

56

12.7.1985 in Hannover

Betonschäden, eine nüchterne Einschätzung zwischen Besorgnis und Polemik

Von **Ferdinand Stefan Rostásy**

(Siehe Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, Band XXXVII, 1985, Seite 165–182)

25.10.1985 in Braunschweig

Der pflanzliche Sekundärstoffwechsel: Zufall oder Notwendigkeit?

(Zusammenfassung)

Von **Thomas Hartmann**

Pflanzen bilden in nahezu unüberschaubarer Fülle sogenannte sekundäre Pflanzenstoffe. Diese Stoffe haben für Wachstum und Entwicklung des Individuums keine Bedeutung, sie sind jedoch wichtige Komponenten im chemischen Wechselspiel der Organismen. Es handelt sich um komplexe unter Selektionsdruck hochdifferenzierte Systeme, die insbesondere die „chemische Abwehr der Pflanze bilden“. Es werden Argumente aus den verschiedensten Teildisziplinen der Biologie vorgetragen, die diese Rolle der Sekundärstoffe belegen. So werden die verschiedenartigen Abwehrstrategien von Pflanze und Tier, die in ihrer unterschiedlichen Organisation und Lebensweise begründet sind, erläutert, ebenso wie die Unterschiede im Stoffwechsel. Variabilität und Vielfalt als Attribute des Sekundärstoffwechsels werden funktionell gedeutet und der Uniformität des Grundstoffwechsels gegenübergestellt.

15.11.1985 in Braunschweig

Fernsehen erhöhter Bildqualität durch digitale Signalverarbeitung

(Kurzfassung)

Von Helmut Schönfelder

Digitaltechnik und Mikroelektronik haben inzwischen einen solch hohen Entwicklungsstand erreicht, daß auch an deren Anwendung im Farbfernsehempfänger zu denken ist. Damit läßt sich die Qualität der Fernsehübertragung ganz wesentlich verbessern. Hierbei ist keinerlei Änderung in der Übertragungsnorm erforderlich. Allein durch spezielle Maßnahmen im Fernsehempfänger lassen sich Qualitätsreserven aktivieren, die in der seit über 30 Jahren bestehenden Fernschnorm enthalten sind. Vorbedingung hierfür ist der Übergang auf eine digitale Videosignalverarbeitung im Heimempfänger.

Bild 1 zeigt, daß der Hochfrequenzteil des Farbfernsehempfängers (Tuner und Zwischenfrequenz-Verstärker) unverändert bleibt. Erst nach dem Demodulator – wenn das komplette PAL-Signal („FBAS-Signal“) wieder vorliegt – erfolgt mit einem Analog/Digital-Wandler (A/D) die Umsetzung in ein digitalisiertes PAL-Signal. In dieser digitalen Ebene läßt sich nun die Zerlegung in das Luminanzsignal Y und die beiden Farbsignalkomponenten U, V mit hoher Präzision durchführen, so daß bereits hierdurch eine Qualitätssteigerung des Farbfernsehempfangs erreicht wird. Nach D/A-Wandlung dieser drei Komponenten werden über eine Dematrix die analogen Rot-, Grün-, Blau-Signale (RGB) für die Ansteuerung der Farbbildröhre zurückgewonnen.

Der digitale PAL-Decoder im Bild 1 gestattet aber die Anwendung zusätzlicher sehr komplexer Verarbeitungsmethoden, mit denen sich die Qualität des Empfangsbildes noch wesentlich steigern läßt. Das gelingt durch die Nutzung der im Fernsehsignal enthaltenen Redundanz, das heißt der bei der großen Flächen und insbesondere bei ruhenden Bildinhalten auftretenden Signalwiederholungen. Diese lassen sich erschließen durch Anwendung von Verzögerungseinrichtungen. Mit noch relativ geringem Aufwand kann man das Fernsehsignal eine Zeile (64 μ s) oder auch mehrere Zeilen vergrößern und damit eine zweidimensionale Aperturkorrektur realisieren, die die Bildschärfe wesentlich erhöht. Die gleichen Speicherketten können für ein Zeilenkammfilter verwendet werden, mit dem sich die PAL-typischen Störungen „Cross-Colour“ und „Cross-Luminance“ (Kantenflacker-Effekte) reduzieren lassen.

Die bisherigen Maßnahmen spielen sich innerhalb eines Vollbildes ab und werden daher „Intraframe-Verfahren“ genannt. Durch die Anwendung von digitalen Bildspeichern mit einer Speicherkapazität von etwa 4 Mbit läßt sich das Fernsehsignal um ein komplettes Vollbild verzögern. Durch dieses sogenannte „Interframe-Verfahren“ kann die noch wesentlich höhere Redundanz aufeinander folgender Fernsehbilder genutzt und somit die Empfangsqualität ganz besonders gesteigert werden.

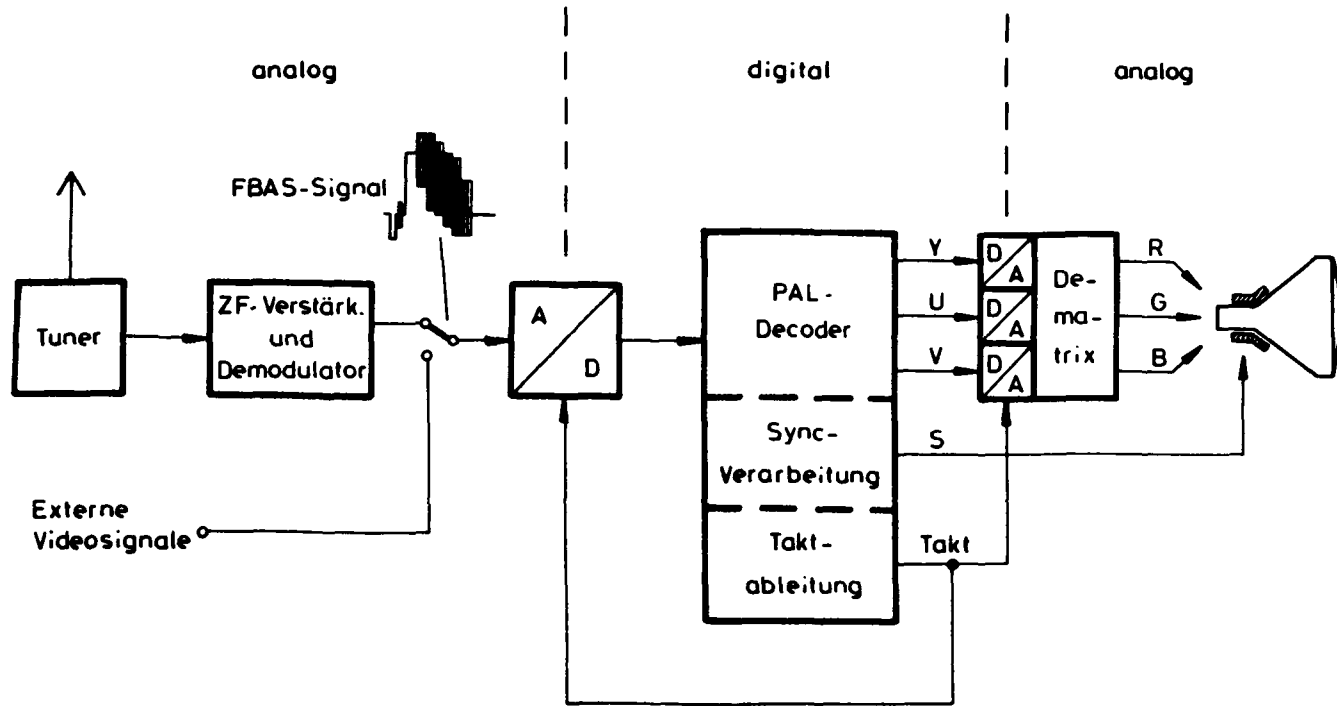


Bild 1:
Digitale Videosignalverarbeitung im Farbfernsehempfänger („Digitaler Fernsehempfänger“)

Bildspeicher gestatten nun den Aufbau eines Bildkammfilters, das die Luminanz/Chrominanz-Trennung so wirkungsvoll durchführt, daß die Cross-Colour- und Cross-Luminance-Störungen für ruhende Bildinhalte ganz verschwinden. Für bewegte Strukturen, die von einem Bewegungsdetektor erkannt werden müssen, ist die Umschaltung auf ein Zeilenkammfilter vorgesehen (adaptiver Betrieb).

Mit einer solchen dreidimensionalen Filtertechnik unter Verwendung von Bildspeichern lassen sich im digitalen Fernsehempfänger auch Methoden zur Störabstandsverbesserung bei schlechten Empfangsbedingungen anwenden. Im Prinzip handelt es sich hier um ein Interframe-Rekursivfilter, das wie ein Tiefpaß von Vollbild zu Vollbild wirkt und damit das Rauschen reduziert. Bewegte Strukturen würden hierdurch allerdings integriert, wodurch die Bewegungsauflösung reduziert wird, so daß über einen Bewegungsdetektor die Integration rechtzeitig abgeschaltet werden muß (adaptiver Betrieb).

Ein Bildspeicher im Fernsehempfänger kann schließlich zur Vermeidung des Bildflimmerns verwendet werden. Hier handelt es sich sogar um eine ganz entscheidende Verbesserung der Bildqualität. Durch das in unserem heutigen Fernsehsystem verwendete Zeilensprungverfahren mit einer Vertikalfrequenz von 50 Hz wird das Großflächenflimmern zwar reduziert, es verbleiben jedoch Flimmerstörungen speziell in hellen Bildteilen, und es wird zusätzlich ein Kantenflackern eingeführt. Beide Störungen lassen sich durch doppelt so schnelles Auslesen aus einem Bildspeicher vermeiden, da das Auge den bei 100 Hz Vertikalfrequenz wesentlich schnelleren Helligkeitsänderungen nicht mehr folgen kann.

Nach diesen Ausführungen ist festzustellen, daß der Übergang auf den digitalen Fernsehempfänger erst dann wirtschaftlich vertretbar wird, wenn auch ein digitaler Bildspeicher zum Einsatz kommt, der dann die eigentlich wirkungsvolle Qualitätsverbesserung des Empfangsbildes zu erreichen gestattet. Es ist den Leistungen der Digitaltechnik und Mikroelektronik zu verdanken, daß dieses Ziel jetzt in erreichbare Nähe rückt.

Klassensitzungen

Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik

- 12.7.1985 in Braunschweig
Georg Müller: „Untersuchungen zur regionalmetamorphen Entwicklung im Westharz“ (Zusammenfassung)
- 15.11.1985 in Braunschweig
Robert Haul: „Heterogene Katalyse als kinetisches Phänomen“ (Kurzfassung)

Klasse für Ingenieurwissenschaften

- 19.4.1985 in Braunschweig – Regularien
- 15.11.1985 in Braunschweig
Matthias Bohnet: „Forschungsschwerpunkte am Institut für Verfahrens- und Kerntechnik der Technischen Universität Braunschweig“ (Bericht)
- 13.12.1985 in Braunschweig – Regularien

Klasse für Bauwissenschaften

- 15.3.1985 in Braunschweig – Regularien

Klasse für Geisteswissenschaften

- 26.1.1985 in Braunschweig
Heribert Boeder: „Das Vernunftinteresse an der Sprache“ (Zusammenfassung)
- 20.4.1985 in Braunschweig
Gregor Maurach: „Seneca“
- 2.11.1985 in Braunschweig
Martin Gosebruch: „Kants ‚Ding an sich‘ als Grenzwert wissenschaftlicher Beschreibung in den schönen Künsten“ (Zusammenfassung)

12.7.1985 in Braunschweig

Untersuchungen zur regionalmetamorphen Entwicklung im Westharz

(Zusammenfassung)

Von **Georg Müller**

Mit Ausnahme der meist nur einige hundert Meter breiten Kontaktzonen, die durch magmatische Intrusionen hervorgerufen wurden (z.B. um den Brockengranit), sind die Gesteine des westlichen Harzes in der geologischen Literatur bisher so behandelt worden, als ob sie keine metamorphe Überprüfung erfahren hätten. Leider sind derzeit großräumige Untersuchungen mit modernen geowissenschaftlichen Problemstellungen nicht realisierbar, weil die Gesteinsformationen des Harzes durch eine unüberwindliche politische Grenze getrennt sind.

Da die tonigen Sedimente der variskischen Geosynklinalfüllungen im Harz in Ton-schiefer umgewandelt worden sind, liegt die Vermutung nahe, daß in ihnen mindestens schwach metamorphe Reaktionen abgelaufen sind (Müller, 1980, S. 46). Auch für die spilitisierten submarinen Basalte wird angenommen, daß sie anchimetamorph sind (Müller, 1984, S. 38). Kürzlich wurde nun in Spiliten südlich von Langelsheim die metamorphe Mineralparagenese: Pumpellyit + Prehnit + Epidot + Aktinolith in einer Matrix von Albit, Chlorit, Calcit und Quarz gefunden und mit der Mikrosonde analysiert (Müller & Strauß, 1985).

Im Vergleich mit Untersuchungsergebnissen anderer Gebiete, welche in der Pumpellyit-Prehnit-Fazies vorliegen (referiert von Myashiro, 1973), und aufgrund von experimentellen petrologischen Daten zu Mineralreaktionen dieser Fazies (Nitsch, 1971) läßt sich die maximale Metamorphosetemperatur für die mitteldevonischen Spilite des Wolfshagen-Goslar-Troges zu nahe 4000°C bei Drücken <3Kbar festlegen. Somit wurden gerade die Bedingungen der metamorphen Grünschieferfazies erreicht.

Die petrographische Neubearbeitung des auf der Seite der Bundesrepublik liegenden Teils des Eckergneis-Komplexes südlich von Bad Harzburg ergab überraschenderweise, daß in eng verfalteten Gneisen Mineralparagenesen vorliegen, die bei hohen Metamorphosetemperaturen unter gerichtetem Druck streng geregelte Schieferungsgefüge ausgebildet haben (Müller & Strauß, 1985). Es sollen nur einige dieser Paragenesen angeführt werden:

Quarz + Orthopyroxen + Orthoamphibol + Biotit + Oligoklas + Orthoklas + Ilmenit sowie Quarz + Orthopyroxen + Biotit + Cordierit + Albit + Orthoklas Ilmenit, des weiteren Quarz + Orthopyroxen + Klinoamphibole + Biotit + Bytownit + Orthoklas + Ilmenit und Quarz + Cordierit + Biotit + Almandin + Plagioklas + Orthoklas.

Sehr wahrscheinlich handelt es sich um eine siltig-tonige quarzreiche Sedimentfolge mit gelegentlichen Einschaltungen basischer Tuffite, die an der Wende vom Unter- zum Mitteldevon einer intensiven Verfaltung und Rekristallisation bei Temperaturen

$>750^{\circ}\text{C}$ und Drücken von $>4\text{Kbar}$ ($P_{\text{H}_2\text{O}} > P_{\text{tot}}$) unterworfen wurde. Eine Rb/Sr-Isochrone von $379 \pm 10\text{ Ma}$ (Schoell et al., 1973) entspricht dieser hochgradigen Regionalmetamorphose.

Die granulitfazielle Eckerscholle ist offensichtlich während des Oberkarbons bei der Ausbildung einer rheinisch streichenden Großfraktur im Kristallin des tieferen Untergrundes abgesichert worden und beim Aufstieg olivintholeiitischer Magmen aus dem Mantel (Harzburger Basitkomplex) in ihre jetzige Position gelangt.

Mit Annäherung an die Intrusivgesteine nehmen die Erscheinungen einer Rekristallisierung der Gneise unter Auflösung der Schieferungsgefüge und der Verdrängung der granulitfaziell gebildeten Paragenesen durch retrograde Minerale zu. Das Alter dieser kontaktmetamorphen Überprägung entspricht dem Intrusionsalter der die Eckergneise umgebenden Magmatite. Letztere ergaben oberkarbonische Abkühlungsalter von $285 \pm 5\text{ Ma}$ (Scholl, 1970).

Literatur

- Miyashiro, A. (1973): Metamorphism and metamorphic belts. Allen & Unwin, London, 492 S.
- Müller, G. (1980): Die Sedimentgesteine des Harzes. E. Pilger Verlag, Clausthal-Zellerfeld, 83 S.
- Müller, G. (1984): Magmatische Gesteine des Westharzes. In: Pilger, A. und Rösler, A.: Nordwestlicher Harz und Vorland. E. Pilger Verlag, Clausthal-Zellerfeld, S. 27–65.
- Müller, G., Strauß, K. W. (1985): Beitrag zur Regionalmetamorphose des Harzes. Geol. Rdsch. **74**, 87–94.
- Müller, G., Strauß, K. W. (1985): Polymetamorphe Entwicklung des Eckergneis-Komplexes/Harz. N. Jb. Miner. Abh. **152**, im Druck.
- Nitsch, K.-H. (1971): Stabilitätsbeziehungen von Prehnit- und Pumpellyithaltigen Paragenesen. Contr. Miner. Petrol. **30**, 240–260.
- Schoell, M. (1970): Untersuchungen zur Alterstellung des Brocken-Intrusions-Komplexes im Harz. Diss. TU Clausthal, 76 S.
- Schoell, M. et al. (1973): Das Alter der Hauptmetamorphose des Eckergneises im Harz auf Grund von Rb/Sr-Datierungen. Geol. Jb. **A 9**, 89–95.

15.11.1985 in Braunschweig

Heterogene Katalyse als kinetisches Phänomen

(Kurzfassung)

Von Robert Haul

Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft hat der Aktualität, die gegenwärtig die Katalyse im Hinblick auf ihre Bedeutung für den Umweltschutz besitzt, durch die Wahl dieser Thematik bei der diesjährigen Verleihung der Gauß-Medaille Rechnung getragen [1]. Wenn hier bereits wieder die Rede von Katalyse ist, so geschieht dies mit der Absicht, aufzuzeigen, welche prinzipiellen Schwierigkeiten auch heute noch bei Anwendung modernster Analysemethoden bestehen, um den Ablauf katalytischer Reaktionen unter den in der Technik herrschenden Bedingungen aufzuklären.

In den letzten etwa zwanzig Jahren hat sich weltweit und mit großem apparativen Aufwand ein interdisziplinäres Forschungsgebiet entwickelt, die sogenannte „Surface Science“, genauer gesagt die Festkörper-Oberflächenforschung. Dazu hat vor allem die große Bedeutung beigetragen, die ihre Ergebnisse für das vielfältige und technisch so wichtige Anwendungsgebiet der Elektronik und auch für die Heterogene Katalyse besitzen.

Hierbei handelt es sich um eine Vielzahl von Oberflächen-Analysentechniken, die überwiegend an reinen oder gezielt chemisch veränderten Oberflächen, insbesondere von Einkristallen unter Ultrahochvakuum-Bedingungen (UHV) angewendet werden. Auf diese Weise können Informationen über die Eigenschaften von Festkörperoberflächen gewonnen werden, sowie über molekulare Wechselwirkungsprozesse, die sich an ihnen etwa mit Gasen abspielen, z.B. Adsorption oder Katalyse.

Einige Hinweise zur Art der Information und Methodik mögen dies verdeutlichen: Chemische Zusammensetzung (Auger-Elektronen-Spektroskopie – AES, Massenspektrometrie – MS, Sekundär-Ionen-Massenspektrometrie – SIMS); Oberflächen-Gitterstruktur und geordnete Adsorptionsstrukturen (Beugung langsamer Elektronen – LEED); Bindungsverhältnisse (Thermische Desorptions-Spektroskopie – TDS, Photoelektronen-Spektroskopie – UPS, XPS); Elektrische Oberflächenleitfähigkeit; Elektronische Eigenschaften (Elektronen-Austrittsarbeit, Photoelektronen-Spektroskopie, Hall-Effekt); Vibronische Eigenschaften (Elektronen-Energieverlust-Spektroskopie – EELS, Infrarot-Spektroskopie – IR); Molekulare Stoßprozesse an Oberflächen (Molekularstrahl-Technik).

Um die Problematik in der Katalysforschung zu verdeutlichen, muß man sich vor Augen halten, daß diese Oberflächen-Analysentechniken – wie schon erwähnt – überwiegend an reinen wohldefinierten Festkörperoberflächen bei extrem niedrigen Drücken, kleiner als 10^{-6} und einem Basisdruck der Apparaturen von etwa 10^{-10} mbar, vorgenommen werden. Andererseits laufen die katalytischen Reaktionen in der Technik an heterogenen Katalysatoren ab, die keineswegs rein sind und fast immer aus fein-

teiligen und/oder porösen Feststoffen bestehen. Die technischen Arbeitsdrücke liegen zwischen Atmosphärendruck und einigen hundert bar. Somit besteht eine weite Kluft hinsichtlich der Oberflächen-Beschaffenheit und des Druckbereichs zwischen den Bedingungen der technischen Katalyse und der UHV-Analysenmethoden.

Aufgrund dieses Sachverhalts stellen sich zwei grundsätzliche Fragen: (1) wie aussagefähig sind die UHV-Analysenmethoden für die Vorgänge bei der technischen Heterogenen Katalyse, (2) wie kann die aufgezeigte Kluft methodisch überbrückt werden.

Zunächst muß man bedenken, daß eine anfangs wohl-definierte und -charakterisierte Einkristall-Oberfläche sich beim Einsetzen einer katalytischen Reaktion hinsichtlich ihrer chemischen Beschaffenheit und Struktur verändern kann. Auch bei technischen Katalysatoren erfolgt zunächst eine Formierung der Oberflächenschichten. Die dann unter stationären Reaktionsbedingungen sich einstellende Katalysatoroberfläche stellt – ebenso wie etwa die Ausgangs-Einkristallfläche – einen wohl-definierten Zustand dar, und dieser reaktive Zustand ist von eigentlichem Interesse.

Ein geradezu klassisches Beispiel für die erfolgreiche Anwendung von UHV-Oberflächen-Analysenmethoden zur Aufklärung des Mechanismus einer katalytischen Reaktion, sind die Arbeiten von Ertl und Mitarbeitern über die oszillierende Oxidation von Kohlenmonoxid durch Sauerstoff an Platin-Einkristallflächen [1, 2]. Bei der hier aufgeworfenen Fragestellung muß man jedoch bedenken, daß die Ergebnisse der bei Drücken von etwa 10^{-6} mbar untersuchten katalytischen Reaktionen nicht ohne weiteres auf die bei Atmosphärendruck ablaufenden periodischen Prozesse [3] zu übertragen sind, bei denen u. a. auch Einflüsse der Wärmeleitung eine Rolle spielen können.

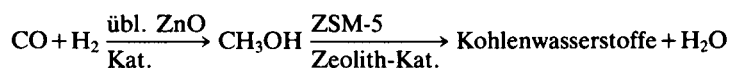
Zur Überbrückung der Kluft im Druckbereich bieten sich prinzipiell zwei apparative Methodiken an: (1) Analyse der Katalysatoroberfläche vor und nach erfolgter Reaktion, (2) Analyse während des Ablaufs der Reaktion.

Im ersteren Fall wird beispielsweise innerhalb des UHV-Analysensystems ein kleiner Reaktionsraum von außen manipulierbar vakuumdicht abgetrennt, der katalytische Reaktionen selbst bis etwa 100 bar zuläßt [4]. Neuerdings sind aufwendige Geräte entwickelt worden, bei denen der Katalysator mit Hilfe eines UHV-kompatiblen Schleusensystems zwischen Reaktor und Analysenapparaturen rasch hin- und hertransportiert werden kann [5]. In beiden Fällen hat die diskontinuierliche Arbeitsweise den prinzipiellen und entscheidenden Nachteil, daß in der Zeit zwischen Reaktion und Analyse die Katalysatoroberfläche sich drastisch verändern kann. Der Druckabfall über viele Zehnerpotenzen kann zur spontanen Desorption adsorbierter Moleküle führen und zusammen mit Temperaturänderungen die Oberfläche in ihrer chemischen Zusammensetzung und Struktur modifizieren.

Unter diesen Umständen dürfte offensichtlich die zweite, oben erwähnte Arbeitsweise, bei der die Analyse während der ablaufenden katalytischen Reaktion erfolgt, am ehesten die eigentlich interessierenden Informationen liefern. Leider wird jedoch damit die Wahl möglicher Analysenverfahren entscheidend eingeschränkt, insbesondere durch den Fortfall der elektronen-spektroskopischen Methoden, die Hochvakuum-Bedingungen erfordern.

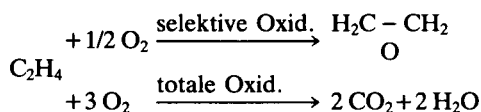
Kontinuierliche Untersuchungen bei währender katalytischer Reaktion sind jedoch in einem weiten Druckbereich mit Hilfe einer massenspektrometrischen Sonde möglich, wie sie in jüngster Zeit bei unseren Arbeiten entwickelt und angewendet worden ist. Dabei befindet sich eine Lochblende in Form einer Kapillarspitze unmittelbar an der von außen manipulierten Oberfläche des Katalysators. Die Sonde ist direkt mit einem Omegatron- oder Quadrupol-Massenspektrometer verbunden und ermöglicht so die praktisch verzögerungsfreie Registrierung der Gaszusammensetzung auch bei schnell verlaufenden Vorgängen unmittelbar am Katalysator. Durch Variation der Weite des Kapillarlecks kann die Kinetik katalytischer Reaktionen in einem weiten Druckbereich verfolgt werden (10^{-7} bis 10^{+3} mbar).

Auf diese Weise wurde von uns die Kinetik der oszillierenden katalytischen CO-Oxidation an Platinfolie erstmals im Druckbereich unterhalb einer Atmosphäre untersucht [6]. Kürzlich haben wir mit einer derartigen Versuchsanordnung kinetische Messungen zur Konversion von Methanol zu Kohlenwasserstoffen an Zeolith-Katalysatoren vorgenommen [7]. Dieser nach der Erdlkrise von der Mobil Corp. in den USA entwickelte Prozeß [8] stellt einen neuen Weg zur Gewinnung von Benzin und Chemie-Rohstoffen aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff dar, neben der Kohlehydrierung nach Bergius-Pier und der Fischer-Tropsch-Synthese.



Obwohl dieses Verfahren bei der zur Zeit reichlichen Erdlversorgung keine wirtschaftliche Bedeutung besitzt, liegen inzwischen zahlreiche verfahrenstechnische Untersuchungen vor, um nötigenfalls eine Produktion aufnehmen zu können. Da die Frage nach dem Reaktionsmechanismus dieser katalytischen Reaktion nach wie vor offen ist, wurde die hier entwickelte Versuchstechnik zur Untersuchung der Kinetik herangezogen. Auf diese Weise gelang es, unter Reaktionsbedingungen, bei denen ausschließlich niedere Olefin-Kohlenwasserstoffe gebildet werden, kinetische Daten zu gewinnen, die eine Diskussion des Reaktionsmechanismus ermöglichen.

Eine Reihe weiterer Arbeiten galt der Kinetik und dem Mechanismus der selektiven Oxidation des Ethylens zu Ethylenoxid an Silber-Katalysatoren, einem Verfahren von großer technischer Bedeutung. Hierzu wurden wiederum mit einer massenspektroskopischen Sonde in einem weiten Druckbereich (10^{-6} bis $2 \cdot 10^{+2}$ mbar) vorgenommen [9, 10]. Als Reaktor diente ein Strömungsrohr, das entweder ein Bündel dünner, orientiert gepackter Silberdrähte oder Silberfolie als Katalysator enthielt.



Die Modellierung der katalytischen Reaktion und die Ermittlung der kinetischen Parameter [10] erfolgte mit Hilfe des von Temkin [11] entwickelten Formalismus. Zusammen mit thermodesorptionsspektroskopischen Untersuchungen [12, 13] über die reak-

tive Sauerstoff-Spezies an Silberoberflächen, ergab sich so ein Reaktionsmechanismus, der in wesentlichen Punkten von den bisher überwiegend vertretenen Auffassungen abweicht [14, 15]. Hiernach ist nicht molekular adsorbierter Sauerstoff (O_2^{ads}) für die Ethylenoxidbildung maßgebend, sondern dissoziativ chemisorbierte Sauerstoffatome bilden mit Ethylen ein gemeinsames Oberflächen-Intermediat für selektive und totale Oxidation. Hohe Selektivität wird nur erzielt, wenn gleichzeitig eine Oberflächenschicht eines nichtstöchiometrischen, halbleitenden Silberoxids (Ag_2O) auf dem Silberkatalysator vorhanden ist. Die Wahl zwischen selektiver und totaler Oxidation hängt von der Verweilzeit des intermediär gebildeten Adsorptionskomplexes ab, die ihrerseits von der Geschwindigkeit des Elektronen-Transfers zur Halbleiterschicht bestimmt wird. Maßgebend hierfür ist die energetische Lage der Oberflächenzustände in Bezug auf das Fermi-Niveau, das durch den Oxidationszustand der Katalysatoroberfläche und chemische Dotierung festgelegt werden kann.

Schlußfolgerungen

Die in neuerer Zeit entwickelten vielfältigen Ultrahochvakuum-Oberflächenanalysen-Methoden haben die Forschung auf dem Gebiet der Heterogenen Katalyse außerordentlich befruchtet. Allerdings besteht eine weite Kluft hinsichtlich der Oberflächenbeschaffenheit der Katalysatoren und des Druckbereichs zwischen den Bedingungen der technischen Katalyse und der Analysenmethoden. Daher können die Ergebnisse nicht ohne weiteres übertragen werden.

Letzten Endes ist die Katalyse ein kinetisches Phänomen. Dieser Sachverhalt tritt gelegentlich in den Hintergrund gegenüber der Fülle und Vielfalt eindrucksvoller Ergebnisse der „Surface Science“ über die Eigenschaften von Festkörperoberflächen und die Vorgänge bei der Chemisorption. Andererseits sind kinetische Untersuchungen allein nicht schlüssig beweisend für einen Reaktionsmechanismus. Daher sollten sie ergänzt werden durch Untersuchungen mit Oberflächen-Spektroskopischen Methoden, die möglichst auch bei den höheren Drücken der technischen Katalyse anwendbar sind. Hierbei ist zu erwarten, daß die Laser-Infrarot-Spektroskopie eine besondere Rolle spielen wird, die Messungen über weite Druckbereiche und zum Vergleich mit technischen Katalysatoren auch an Einkristalloberflächen ermöglicht.

Literaturhinweise

- [1] Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille 1985 an Prof. Dr. G. Ertl, München. Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft, Jahrbuch 1985, S. 140.
- [2] R. Imbihl, M. P. Cox und G. Ertl: J. Chem. Phys., **83** (1985), 1578.
- [3] E. Wicke, P. Kummer, W. Keil und J. Schiefler: Ber. Bunsenges. Phys. Chem., **84**, 315 (1980).
- [4] D. W. Blakely, E. J. Kozak, B. A. Sexton und G. A. Somorjai: J. Vac. Sci. Technol., **13**, 1091 (1976).
- [5] C. T. Campbell und M. T. Paffett: Surface Sci., **139**, 396 (1984); UHV-Oberflächenanalysen Universal-Großgerät der Firma Leybold-Heraeus, Köln.

- [6] D. Barkowski, R. Haul und U. Kretschmer: *Surface Sci.*, **107**, L 329 (1981).
- [7] U. Kretschmer: Diss. Univ. Hannover, 1985.
- [8] Cl. D. Chang und A.J. Silvestri: *J. Catal.*, **47**, 249 (1977).
- [9] U. Zeeck: Diss. Univ. Hannover, 1982.
- [10] G. Neubauer: Diss. Univ. Hannover, 1985.
- [11] M.I. Temkin: *Adv. in Catalysis*, **28**, 173 (1979).
- [12] D. Hoge: Diplomarbeit Univ. Hannover, 1981.
- [13] D. Fischer: Diss. Univ. Hannover, 1982.
- [14] R. Haul, D. Hoge, G. Neubauer und U. Zeeck: *Surface Sci.*, **122**, L 622 (1982).
- [15] R. Haul, G. Neubauer, D. Fischer, D. Hoge und U. Zeeck: *Proceed. 8th Intern. Catalysis Congr.*, Berlin, Vol. 3, 265 (1984).

26.1.1985 in Braunschweig

Das Vernunftinteresse an der Sprache

(Zusammenfassung)

Von **Heribert Boeder**

Es ist nicht lange her, da schien es vielen: das Interesse an der Sprache sei das Verbindende der einander bis zur Unverständlichkeit fremden Tendenzen heutiger „Philosophie“. Schien sie doch so weit auseinander liegende Sichten zu verbinden wie diejenigen Heideggers, Wittgensteins und Foucaults. Nun sollte allerdings gerade die Beschäftigung mit der Sprache auf die im Gesprochenen waltenden Aequivocationen achten lassen und die Frage wach halten: welche Sprache? Welche – nicht im Sinne einer terminologischen Klärung, die drei oder fünf oder auch dreizehn Definitionen von „Sprache“ oder Beschreibungen für den unterschiedlichen Gebrauch dieses Wortes liefert, sondern – anders als nach den Erfordernissen der Sprachwissenschaften – die unterschiedliche Vernunftabsicht berücksichtigt, aus der her die Sprache oder doch Sprachliches zum Thema einer Philosophie oder einer Besinnung wird.

Die Vernunft selbst – dies sei hier unterstellt – verlangt eine strenge Scheidung ihrer Aufgabe und deren Erfüllung. Erst dies gibt der Rede von der Moderne in singulärer Bedeutung einen Sinn. Sie ist und bleibt unsere Welt und die ihr eigentümliche Besinnung will nicht mit der Philosophie verfließen, welche wiederum der Geschichte dieser Welt angehört.

Ein kurzer Blick auf die Vollendungsgestalt dieser Philosophie, nämlich Hegels „Encyklopädie der Philosophischen Wissenschaften“, gibt einen ersten Anstoß zu unserer Klärung, sofern sie die Sprache nicht als konstitutiv für eine besondere „Philosophie der Sprache“ zuläßt, diese auch sonst nicht eigens thematisiert, sondern nur berücksichtigt. Dies in der Absicht, den Gedanken, deutlicher: den Begriff vom Namen zu trennen.

In der Moderne dagegen wird die Besinnung auf die Wissenschaften von der Sammlung auf ihre Sprachlichkeit eröffnet – und zwar von Frege. Die Besinnung auf den Lebensboden der Wissenschaften vollendet, bzw. erschöpft sich in Aufhellung seiner Sprachlichkeit. Anders als die Fregesche Besinnung ist und bleibt die Wittgensteinsche – als „Sprachphilosophie“ versteht sich weder die eine noch die andere – von dem unausrottbaren Unsinn „metaphysischer Sätze“ irritiert. Wittgensteins Therapie: Rückführung des von Metaphysik oder Philosophie befallenen Wortgebrauchs in die Alltags-Dimension des Sprach-Verhaltens.

Daher unsere Frage: was ist denn das Un-Alltägliche des metaphysischen Sagens und Denkens gewesen? Die Antwort beschränkt sich auf seine drei epochalen Gestalten, verbunden mit den Namen Parmenides, Augustinus und Hegel, um eben dort zu erfahren, was den Gedanken jeweils zur Rücksicht auf die Sprache oder auf Sprachliches bewegte. Im Ganzen zeigt sich der immerhin verwunderliche Befund: Jene

Rücksicht wird jeweils von einer Erfahrung mit der Unwahrheit bestimmt. *Déjà vu*? In der Sprache der Ansichten Sterblicher, des Tuns eines gefallenen Geistes und des gewissenhaften Produzierens von Unwahrheit. Daraufhin wird der „Name“, die „Aussage“ und schließlich die Selbstmitteilung thematisch.

Die Unwahrheit wird im Kernbereich der Moderne zur primären Wirklichkeitserfahrung, und zwar hinsichtlich des Menschenwesens. Erst auf es hin nehmen Geschichte, Welt und Sprache die Würde jener Totalitäten an, welche die natürliche Vernunft – auf Rationalität des Menschen hin – als unsterbliche Seele, als zeitliche und ewige Welt, als göttliches All der Realität betrachtete.

Für die Besinnung im Kernbereich der Moderne findet die Sprache ihren Ort zuerst in den Produktionsverhältnissen, sodann im Selbstverhältnis des sich über sich hinaus schaffenden Menschen, schließlich im Menschenwesen als Da-Sein, konkret als Bauen und Wohnen. Im ersten Falle erscheint die Sprache nur beiläufig; im anderen Falle wird sie von dem Denken her thematisch, dessen Wille sich nicht nach der Wahrheit, sondern nach der Kunst als dem höchsten Wert richtet. Im letzten Falle wird nicht nur die Sache des Denkens und dieses selbst als sprachliches gedacht, sondern sogar die Bestimmung beider – sie selber als sprechende, weil rufende und sammelnde.

Wo die Sprache innerhalb der Moderne ihre höchste Würdigung findet, fällt auf und sogar ins Auge – um hier an die Bildende Kunst zu erinnern –, daß sie ihre unmittelbare Verständlichkeit und instrumentale Brauchbarkeit eingebüßt hat. Sie ist da dem alltäglichen Sprechen ferner als die verrufene Sprache der Metaphysik das jemals war. Darin liegt ein Wink, sich dem gemeinsamen in der Sprache unserer Welt und ihrer Geschichte zuzuwenden. Da gilt erst recht: nur als gebrauchte Sprache ist sie eindeutig.

Der Vortrag selbst wird in den „Acta Institutionis Philosophiae et Aestheticae, Vol. 4, Tokyo, 1986 erscheinen.

20.4.1985 in Braunschweig

Senecas Leben und Lehre

Von Gregor Maurach

Sein Leben

Ich will da nicht im einzelnen aufzählen, was wir über Senecas¹⁾ Leben wissen, will nur den Kern freilegen, nicht die Schalen betrachten. Zu den Schalen mag gehören, wie er eine glanzvolle Karriere begann, wie eine auszehrende Krankheit sie abbrach; wie er sie ausheilte und eine neue Karriere anfang, wie sie ihn bewundert und beliebt machte, auch bei Hofe, und da vielleicht zu beliebt; wie er dann gestürzt wurde, in die Verbannung; wie Agrippina ihn heimholte als Erzieher ihres Sohnes Nero, wie er nun an des Römischen Reiches ruhigsten und glücklichsten Jahren mitwirkte; wie er dann bald mit seinem Gewissen Kompromisse schließen mußte angesichts des Mordens und Schwelgens; wie er, als die Grenze solcher Kompromisse erreicht war, sich aus all' seiner Macht und all' seinem Reichtum klaglos zurückzog in die Askese, um zu schreiben und am Ende die Ernte aus Jahren des Nachdenkens einzubringen; wie er trotz der täglichen Bedrohung nicht floh, sondern der Rache des schlechten Gewissens im rasenden Tyrannen erreichbar blieb, wie sie ihn dann auch erreichte und Seneca starb, wie er gelehrt hatte: tapfer und unerschütterlich.

Ich will diese Einzelheiten nicht ausführen, denn man weiß ja nicht genau, wie mächtig er wirklich war, wie nahe den Entscheidungen und welchen; umstritten ist ja auch, was er wirklich getan hat. Da ist besser, einmal zu sagen, was er *nicht* getan hat, obschon fast alle um ihn das taten – und damit kommen wir zum Kern: unbezweifelbar war er ein führender *amicus principis*, er besaß eine Stellung, die ihm schier ungehemmtes Schwelgen, gewinnträchtigste Günstlingspolitik und einen Selbstkult ermöglicht hätte, welcher dem eines Sejan oder Pallas in nichts nachgestanden hätte – er hat das alles nicht getan und blieb im Hintergrund. Er hat niemandem geschadet, niemanden aus dem Wege geräumt. Vielmehr bescheinigt ihm Tacitus eine *honesta comitas*, eine anstandsvolle Zuvorkommenheit²⁾. Und als der Kaiser zu toben begann, versuchte Seneca nicht, sich durch Liebedienerei in Reichtum und Macht zu halten. Der Kern dieses Lebens war, daß Seneca etwas ungemein Seltenes gelang: die Macht zum Segen für die Gemeinschaft zu nutzen, sich von ihrer Verführung aber frei zu erhalten, von aller Gier nach Ruhm und Besitzdauer und dann von der Verlustangst unberührt, ja sogar vom versklavenden Hangen am Leben selbst frei zu bleiben. Man mag dies an der Ruhe ablesen, mit der sein Auge klar und distanziert ins Weite schaut – wenn denn jenes Gesicht an der vielbesprochenen Doppelherme das seine ist³⁾.

Dieses Gesicht zeigt aber auch einen gekräuselt-ästhetelnden Mund, der verfeinerten Selbstgenuß verrät. Das würde denn gut zu seinem ebenso berühmten wie berühmten und so oft mißverstandenen Schreibstil passen, dem man ja seit Caligula eine gewisse Affektiertheit nachgesagt hat. Dieser Stil zeigt zweifellos eine Lust am Rheto-

rischen, an der Raffinesse und am Hyperbolischen eines Barock, dazu eine gewisse Freude am Zurschaustellen der eigenen Meisterschaft⁴). Ja, sogar sein Tod sollte ein weithin sichtbares Drama sein, stilisiert als eine Angleichung an das Sterben des Sokrates. Nur kam dann alles viel schlimmer⁵), und dennoch blieb Seneca tapfer und unerschüttert, bis er erstickte. Die Lust am Stil-Dreheln und das Zurschautragen der Sprachkunst mag manchmal dem Zeitgeschmack allzusehr gehuldigt und das Maß des uns Erträglichen überstiegen haben – was sein Leben angeht, so hat er sich ein solches Ostendieren nicht gestattet, und was sein Sterben anlangt, so hat er ein würdiges Bild hinterlassen, an dem auch ein Tacitus nichts auszusetzen wußte.

Seine Lehre

In der Todesstunde sagte Seneca zu den Freunden, die um ihn waren, er vermache ihnen das „Bild seines Lebens“⁶). Er muß es als lauter und rein empfunden haben. Doch das hat man ihm nicht immer geglaubt, und zwar deswegen nicht, weil sein Leben in „krassem Widerspruch“ zu seiner Lehre gestanden habe⁷). Was war denn diese seine Lehre? Hat man sie vielleicht mißverstanden?

Wieder will ich nicht alle Einzelheiten dieser Lehre, ihre Schalen, darlegen; wohl aber will ich auch hier andeuten, was mir als der Kern erscheint, um den es geht⁸).

Worum geht es Seneca? Ich meine, letztlich um die Würde⁹) des tätigen Menschen. Ich sehe das so: der Mensch ist auf die Welt um ihn angewiesen, darf er sich doch am Leben erhalten. Er ist dieser Welt um ihn zugewandt im Begehren und Meiden dessen, was sie heranträgt, was sie darbietet oder verweigert. Das eine erzeugt die Lust des Erreichens, das andere den Schmerz des Scheiterns, bis hin zum Entsetzen vor dem Tode. Die Geburt bindet uns in diese Welt ein, und das führt, legt man nicht eine heilsame Distanz zwischen sich und diese Welt, zur Auslieferung an ihre Reize bis hin zum automatischen, wehrlosen Reagieren, zum willenlosen Hin- und Hergerissensein.

Nun hören wir spätestens seit dem 24. Ilias-Gesang, wie der Mensch diese Fesselung zu sprengen versucht, um Gelassenheit zu gewinnen, um sich von der automatischen Reiz-Reaktion zu befreien. Aber erst die Philosophie vermochte diesem Versuch Ziel und Sicherheit zu bieten, dadurch nämlich, daß sie den Anspruch der Dinge, die da auf uns einströmen, als Schein entlarvte und das Erkennen dessen, wie die Welt wirklich ist, ihrer Wahrheit also, dem Menschen als sein wahres Ziel vor Augen stellte, kurzum: dadurch befreite sie den Menschen, daß sie ihm ein Leben unter der Führung des Geistes als das eigentliche abforderte.

Auf diese theoretische Erkenntnis der klassischen Epoche folgte die hellenistische Epoche¹⁰), in der die Frage nach der praktischen Anwendung des so Erkannten Thema wurde. Befällt mich ein Reiz, so lehrte man da, ein Reiz etwas zu begehren, oder eine Furcht, etwas zu verlieren, dann gilt es, Reiz und Furcht aufgrund anerkannter Maßstäbe, anhand der Dogmata, zu prüfen, ob es sich dabei um Wertvolles oder um Wertloses handele. Dazu bedarf es eben des Maßstabes, und der ist: wertvoll ist allein das, was mein Überlegenwerden über das Anbränden der Welt fördert, d. h. den Geist. Woher aber kommt die Überlegenheit des Geistes, des *animus*? Aus dem Eigensten

des Menschen, aus Erkenntnis und Verstand. Das will sagen: aus der Erkenntnis der ewigen, der kosmischen Gesetze, und aus dem Verstand, der da das Anbrandende beurteilt und es am Ewigen mißt mit der Maßgabe, daß allein Gerechtigkeit, Aufrichtigkeit und Besonnenheit Werte sind, die unsere Welt erhalten helfen und sonst nichts im Leben. So gemessen, erscheint dann das meiste als wertlos, vieles als wertfrei und nur wenig als werterfüllt¹¹⁾, und allein diesem gilt es nachzustreben.

Kurz gesagt: es kommt auf die richtigen Relationen an, auf die rechte Größenordnung. Nur das Abmessen des Einzelnen und Momentanen nach Maßgabe des Ganzen und Bleibenden, immer Gültigen gibt das rechte Augenmaß, die rechte emotive Einstellung und somit die Überlegenheit über den Reiz und die Furcht. Die Überlegenheit ist aber kein erreichbarer Besitz, wenigstens nicht für den gewöhnlichen Menschen. Sie will den Dingen täglich, oft täglich mehrmals, abgerungen¹²⁾ sein im ständigen Entscheiden über Ja oder Nein.

Diese tägliche Mühe gilt zunächst der Vervollkommnung des Ich; diese aber gewährt dann auch die echte Liebe zum Mitmenschen, eine kritische, dann aber gefestigte Liebe auch zum Freund und zum Ehepartner¹³⁾. Ohne das Du ist das Leben zwar möglich, aber nicht lebenswert. Denn der Mensch soll tätig sein, tätig für die Gemeinschaft. Gemeinschaft gewährt Freude und Genugtuung, wie überhaupt gelingende Tätigkeit Genugtuung und Freude schenkt, die Freude an einem sinnvollen, wenn auch schwer erkämpften Dasein. Dies macht die Würde des tätigen Menschen aus, um die es Seneca überall geht.

Drei Anzweiflungen

Man warf dieser Lehre Weltferne vor. Nichts kann törichter sein, denn sie ist für das Leben in der Welt erdacht. Das philosophische Leben stellt sich ja den Dingen, es weicht ihnen nicht aus. Es nimmt die Dinge an, mißt und beurteilt sie, und baut dann aus dem, was angenommen, und aus dem, was dadurch erreicht wird, aus verwirklichten Werten, ein Haus¹⁴⁾, das Haus des Lebens, könnte man sagen. Dieses Buch ist eine Kunst, und Seneca sagt: *vita ars est*. Die *ars*, die Kunstfertigkeit, bedarf aber der Zielvorstellung, und die stammt aus der *scientia*, dem Wissen um das Göttliche und dem Menschen Eigentliche.

„Das Leben – eine Kunst“: das hat man oft nachgeredet, oft zur „Lebenskünstelei“ abgeflacht. Aber dies tiefe Wort birgt in sich die Einsicht, daß ein Leben in Würde nicht darin bestehen kann, sich an die Welt auszuliefern und sich von ihren Reizen und Fürchtungen hin- und herreißen zu lassen, sondern der Welt um uns ein Festes abzurufen, in dem man sicher ist, und das kann nur aus dem kommen, was unverlierbar ist, aus dem Geist. Er ist der Welt nicht fern, denn er bedarf ihres Materials, um sein Leben zu bauen.

Man hat dieser Lehre ferner vorgeworfen, sie sei nur für den Gealterten, dem Tode Nahe gemacht. Weit gefehlt: niemand ist dem Tode so fern, daß er ihn nicht ernst nehmen müßte – heute schon gar nicht. Nur das Bewußtsein der Endlichkeit gibt der Lebens-Kunst ihren Sinn: nur das hat Wert, das mir hilft, das Ende aufrecht kommen

zu sehen; nur das hat Gewicht, das mir erlaubt, auch im Angesicht des Alterns und des Endes ungetrübte Freude zu empfinden. Der Tod – Ludwig Marcuse nannte ihn den „radikalen Entwerter vom Ende her“¹⁵); gewiß, aber er ist auch der Geber tieferer und bewußter gelebter Tage.

Insbesondere aber hat man Seneca vorgeworfen, sein Leben in Reichtum und Macht habe in krassem Widerspruch zu seiner Lehre von Askese und Gelassenheit gestanden. Er habe, so könnte man sagen, einen Weg gewiesen, den er selber nicht ging, oder ein Haus gebaut, in dem er selber nicht wohnen mochte. Ich meine, man hat seine Lehre hier mißverstanden¹⁶).

Senecas Lehre stellt nicht ein Ideal auf; das Ideal war längst aufgestellt und im Detail beschrieben, nämlich in den Dogmata der stoischen Schule¹⁷). Senecas Lehre ist vielmehr eine Begleiterin auf dem Wege zu diesem Ideal. Sie ist eine Begleiterin, die den Vorwärtsschreitenden anspornt, den Strauchelnden stützt und den Stehenbleibenden vorwärtszwingt. Diese Lehre weckt den Willen zum Voranschreiten. Die Wahrheit einsehen, das geht noch an; sie zu tun, das ist das Schwere. Und um dieses Tun des Wahren, darum geht es in Senecas Schriften; darum treibt er an, mahnt, zürnt, reißt mit – die Rasanzen seines Stils ist ja nicht Selbstzweck. Die argumentativen Teile der Lehre wollen überzeugen; aber daneben stehen die vielen hortativen Teile, und die sollen antreiben. Und das ist nötig, denn wir alle sind Geist *und* Körper, und der Körper löckt wider den Stachel, erschwert die Einsicht und widersteht ihrer Verwirklichung. Das ist die *difficilis materia*, die Seneca beklagt¹⁸); das ist die Quelle des Reizes, lieber der kurzen Lust als der langen und mühsamen *virtus* nachzugehen.

Hier auch nur ein gut Stück Weges vorangekommen zu sein, ist schon viel. Die Jüngere Stoa schwelgt ja nicht im Ausmalen jenes „Bildes des Weisen“, sondern sie widmet sich ganz der Hilfe bei den kleinen Schritten. Daß Seneca selber ein Weiser, ein Idealmensch gewesen sei, das streitet er selber überall ab; aber daß er ein gut Stück auf einem gangbaren Weg vorangekommen war, das ist vielfach bezeugt (ich habe oben davon gesprochen). Senecas Größe besteht für mich nicht in Übermenschlichem, sondern in dem, was so viele Menschen leisten können und so wenige leisten: er hat die Entscheidung gefällt, ein ethisches Leben zu bauen, und er ist trotz aller Kompromisse mit seiner *materia* bei diesem Bauen nicht müde geworden.

Moderne Philosophie und Belletristik

Dem Interessenten kann ich nicht Ludwig Marcuses Anmerkungen¹⁹) zu Seneca, auch nicht die Darstellungen in den Philosophiegeschichten empfehlen, sondern die wenigen Worte von Paul Tillich in seinem Buche „Der Mut zum Sein“²⁰). Es ging ihm hier nicht um diesen oder jenen Entscheidungsmut in dieser oder jener Lebenssituation, sondern um den Mut, trotz der Schuld, die jeder Christ auf sich lastend weiß, und in der Hoffnung auf die Erlösung durch Christus ein Leben in dessen Nachfolge zu führen, also ein Leben, das sich vom gewöhnlichen Meinen entfernt. In vielem erkennt Tillich da die Übereinstimmung zwischen dem christlichen Denken und dem Senecas, der ja

jahrhundertlang als heimlicher Christ galt; er erkennt das Gemeinsame vor allem in dem Mut zur „Hingabe des persönlichen Zentrums an den Logos des Seins“ – ich habe oben erläutert, was darunter zu verstehen ist. Den Grund-Unterschied aber sieht Tillich in der Schuld: die Schuld einem persönlich erlebbaren Gott gegenüber kennt der Stoiker ebenso wenig wie die Angst vor der Verdammnis. Wohl aber kennt er eine weltliche Schuld, die des ständigen Kompromisseschließens. Der Stoiker kennt da aber auch die Kraft, dieser Schuld aus eigener Vollkommenheit zu entkommen: *fac te ipse felicem*²¹⁾, ruft Seneca seinem Freunde zu. Und genau dies unterscheidet ihn vom Christen, dem ein solcher Satz eine Sünde ist, denn er leugnet die überweltliche Schuld und die göttliche Gnade. Doch auch jene Kraft, mit der ein Stoiker „sich selber vervollkommen“, ist nicht zur Gänze verfügbar; auch sie kommt „von oben“, denn ihr „Organ“, der *animus*, kommt vom Göttlichen, und dies in unbegreiflich abgestufter Fülle. Denn der *animus* ist geburtsbedingt verschieden stark²²⁾. Das ist kein Elite-Denken, sondern die Anerkennung der Gegebenheiten. Das Hoffen auf die von oben gespendete Kraft, und überhaupt der Mut, sich der höheren Gesetzlichkeit anheimzugeben, das ähnelt dem christlichen Denken, heißt es doch auch in „Eyn deutsch Theologia“, herausgegeben von Dr. Martin Luther: „Lege das Selbst gänzlich und einfach von Dir, nimm Deinen eigenen Willen hinweg – die Hölle wird nicht mehr sein“.

Tillichs Reaktion auf Seneca scheint mir ungleich angemessener als der mir nichts sagende Roman von Grass „örtlich betäubt“ oder V. Sørensens Buch „Seneca – Ein Humanist an Neros Hof“²³⁾. Empfehlenswert dagegen ist das Buch des Prinzen zu Löwenstein „Seneca – Kaiser ohne Purpur“²⁴⁾. Mir gefällt zwar nicht, daß Seneca hier nach Vorgang P. Grimals mit allen für uns heute bedeutenden Erscheinungen seiner Tage in Zusammenhang gebracht, sein Vater zum engen Vertrauten des Kaisers Tiberius gemacht, er selber zum designierten Gatten der Julia und zum Kaisernachfolger erhoben wird, daß er Tacitus getroffen und verabscheut, Paulus gekannt und bewundert haben soll, usw. – da ist die Überlieferung überfordert worden; doch diese Romanbiographie hat zumeist guten Stil und enthält, von ein paar seltsamen Fehlern abgesehen, Seiten voll kluger, zuweilen gar schöner Dichtung: ein mitdenkendes Lesen verspricht guten Gewinn, auch wenn kaum je deutlich wird, wieso dieser Seneca ein Philosoph gewesen sein soll, oder: was seine Philosophie war.

Zusammenfassung

Auch wenn der obige Überblick über Senecas jüngste Nachwirkung kurz ausfiel und kurz ausfallen mußte, so lehrt er dennoch mit einiger Deutlichkeit dies: es waren entweder nur die Kerngedanken der Lehre, die heute Interesse fanden, oder Episoden aus seinem Leben. Wenn wir nun aber das Thema erinnern – „Seneca: heute wirkend“ –, dann stellt sich die Frage: Wollte er dies? Wollte er so wirken? Wenn er vom „Bilde seines Lebens“ sprach, wollte er da nicht als ein Ganzes wirken, durch Leben und Lehre und Stil? Ich denke, wir sind jetzt am Ende zu einem solchen Zusammenfügen aufgefordert, wenn wir ihm gerecht werden wollen – ein überaus schwieriges Unterfangen.

Mir fällt da ein böses Wort Nietzsches²⁵) ein: nichts sei ihm widerwärtiger gewesen als Senecas ständiges Anpreisen der Philosophie. Aber wollte Seneca denn Philosophie anpreisen?

Der Seneca der erhaltenen Schriften hat die Philosophie nie „angepriesen“; dieser Seneca spricht nicht direkt von sich, spricht nie direkt zum Leser; er spricht zu einem Paulinus, einem Serenus und Lucilius. Und er spricht nicht direkt ein „Du bist“ oder „Du mußt“ aus: er spricht von sich und seinen Ein- und Ansichten, er spricht zum Leser und über dessen Lage immer durch das Mittel kunstvoll gestalteter Prosa- oder Versdichtung, indirekt, halb verbergend, halb eröffnend.

Weiter: Seneca hat das Philosophieren nieangepriesen im Sinne der Protrepik, sondern – und dies ist eminent wichtig – er spricht immer zu jemandem, der bereits das Erlebnis eines Unbehagens mit seinem Leben und das Entsetzen vor dem näherkommenden Ende kostet, also zu einem, der am „Scheidewege“, oder moderner: „auf der Kippe“ steht.

Zuletzt: Seneca preist nicht die Philosophie überhaupt an, wenn er denn etwas „anpreist“, sondern er deckt ihre Wurzeln auf, mit denen sie ins tägliche Leben hineinwachsen sollte: da soll sich jemand aus dem staatlichen Leben zurückziehen um eines geistigen Lebens willen; da soll einer sein noch verbleibendes Leben sinnvoll erfüllen mit der Füllung der Seele und des Geistes statt des Kontos; das soll jemand, der ein solches Leben versucht, einsehen, daß er unangreifbar ist durch Nachrede und Kränkung seitens der Anderen; da soll jemand begreifen, daß der Kampf mit dem Leid und Schmerz nicht der Kampf mit Zufälligem ist, sondern Bewährung des Geistes; in den *Naturales Quaestiones* soll jemand einsehen, daß die Quelle der Kraft zu solchem Kampf die Schau des Vollkommenen, und die Quelle des antreibenden Mißbehagens die Scheu vor dem Perversen ist; zuletzt soll der Zuschauer oder Leser seiner Tragödien diese Perversion im Prozeß der Selbstzerstörung schauen, um aus dem Entsetzen die Einsicht zu gewinnen, daß nur die Gegenrichtung rettet.

Seneca spricht also in eine ganz bestimmte Situation hinein, in die des begonnenen Unbehagens, aber nie direkt: er gestaltet in seiner Prosa Dialoge zwischen sich und ihm Nahen, in den Tragödien Dialoge zwischen Wahnbefallenen. Er stellt also immer Bilder vor Augen, Bilder von Auseinandersetzungen mit bestimmten Lebenssituationen. Dem, der mit sich zufrieden und darum für ein ganz anderes Leben blind ist, dem sagen diese Bilder nichts; den aber, der bereits zweifelt, den bestärken sie, dem legen sie das Ziel dar, damit er es mit dem Kopf begreife; dem preisen sie es, damit er begeistert auf es zueile. Darlegen, Ermuntern, Niederringen und Begeistern bis zum Enthusiasmus – das ist Senecas Stil. Es ist auch nicht „Seneca“, der da spricht, es ist immer ein Gespräch Senecas mit anderen, eine Auseinandersetzung um die ersten kleinen Schritte in der Gegenrichtung. Und auch von seinem Leben spricht er nie wie vom Zustand der Vollendung eines Weisen, sondern nur als von einem Gehen ein paar kleine Schritte vor dem Adressaten.

Wie also wollte Seneca wirken, wenn er es schon nicht im Sinne des „widerlichen Anpreisens“ wollte? Nicht als Prediger durch Erweckungsschriften, sondern durch das Mittel, das sich teils gibt, teils verbirgt; das teils aufdeckt, teils verhüllt; das teils durch

das Schöne begeistert, teils durch das Entsetzen erschreckt – durch das Mittel der Kunst. Ihm war alles Gestaltung: seine Auseinandersetzung mit seinem eigenen Leben, das er als exemplarisch, weil typisch menschlich empfand; sein Leben selbst, das ja wie die Kunst dem Material abgerungen sein will (*vita ars est*) und auch seine Lehre, die ein Ineinanderbringen von hohem Ideal und menschlich-materiellen Gegebenheiten ist; Kompromiß also zwischen der Schau des großen Zieles und der geringen Kraft in uns.

Daher rührt – um nun alles zusammenzusehen – das klare, schöne Schauen in Senecas Antlitz auf krankhaft-feistem Leib, und das ästhetisierende-Künstliche, das spielend-Verbergende, Indirekte seiner Lippenhaltung, die einen Hauch von Anwiderung enthält – ein unbehagliches Gesicht, das unruhig läßt. Das ist nicht das in Gott ruhende Antlitz eines Heiligen, es ist das Gesicht des Menschen, der das Große sieht und mit seiner Kleinheit im mühevoll gestalteten Kompromiß fertig werden muß. Es ist unser Gesicht, das Gesicht von uns Zwischenwesen.

Literatur

- 1) Zwei neuere wissenschaftliche Bücher über sein Leben stehen sich unvereinbar gegenüber: P. Grimal's „Seneca“ (2. Aufl. der franz. Fassung 1957; übers. und zuweilen auf neueren Stand gebracht von K. Abel, Darmstadt 1978) und M. Griffins „Seneca – A Philosopher in Politics“ (Oxford 1976). Grimal scheut sich nicht, mancherlei Vermutungen auf unsicheres Material zu bauen; Griffin räumt alle Vermutungen, die auf ungewissem Grunde stehen, fort.
- 2) Tac. ann. 13,2,1; man vgl. Köstermanns Kommentar dazu, in dem auch neuere Literatur zur Frage nach dem Seneca-Bild des Tacitus zitiert ist. Tacitus betont, daß Seneca und Burrus, seiner Ansicht nach die Mächtigsten jener Jahre, sich gegenseitig stützten – allein dies ein seltenes Verhältnis zweier Mächtiger.
- 3) Die Doppelherme in Berlin (Sokrates mit Seneca – eine sinnvolle Zusammenfügung) ist durch Inschrift als Seneca-Portrait ausgewiesen. O. Rossbach (RE 1, 2244, 2 ff.) u. a. bezweifelten die Echtheit, da er „mager von Jugend auf war“, wie er aus einigen Briefstellen herauslesen wollte. Diese Stellen beweisen seine Ansicht jedoch nicht, und so scheint Köstermanns Ausweg (zu Tac. ann. 15,63,3: „Abgemagert war er anscheinend erst in den letzten Jahren“ nicht unmöglich, wenn man hinzufügt, daß er es auch in der Jugend war: die Herme, von B. Andreae, Römische Kunst, 1982, 144 mit Abb. 319 ohne Einschränkung als Seneca-Darstellung bezeichnet, dürfte aus Senecas mittlerer Zeit stammen, das Portrait des Mächtigen und doch einer Verbindung mit Sokrates Würdigen.
- 4) Senecas Stil ist uns heute weitgehend fremd, wir schätzen das Barocke nicht mehr. Das darf jedoch, da auch unser Durchschnittsgeschmack zeitbedingt ist, nicht zu Urteilen verleiten; lieber bedenke man dies: gewiß zerstückelte er die ciceronischen Perioden (mit denen allerdings durchaus Massen bis in die Raserei getrieben werden konnten), aber doch nicht so, daß da nichts mehr zusammenhing. Vielmehr tat er nichts weiter, als weite gedankliche Zusammenhänge in einzelne Sätze aufzulösen, die nun weitgehend isoliert wirken, aus sich und in voller Stärke, ohne als Nebensatz zweiter, dritter oder noch tieferer Rangordnung zurückstehen zu müssen: in der Therapie (und um eine solche handelt es sich) muß jeder heilende Satz voll wirken können. Aber man füge in senecanische Satz-Kaskaden Konjunktionen ein, verbinde das zu Verbindende zu einem logischen Geflecht, und man erhält mühelos schönste ciceronische Perioden. Dies Auseinanderlegen des Geflechtes nun aber ist die Schwierigkeit der heutigen Seneca-Lektüre: überall muß nach der inneren Verbindung des äußerlich Unverbundenen gefragt werden; so zu lesen, kann man bei K. Abel, Bauformen in Senecas Dialogen, Heidelberg 1967 lernen.

- 5) Tac. ann. 15,64,3 berichtet, Seneca habe seit längerer Zeit Schierling oder gar einen Schierlingstrank bei sich gehabt; er hatte also Vorsorge getroffen (*provisum*), nicht nur zur Selbsttötung, sondern zu sokratischem Sterben (das muß nicht so negativ ausgelegt werden, wie Köstermann es tut). Nur muß Schierling nach Aussage der Toxikologie, frisch sein, und auch der Trank wirkt nicht, wenn er nicht kurz vor der Anwendung zubereitet (und mit noch anderen Giften gemischt) ist. Darum wirkte der Trank bei Seneca nichts, verlängerte nur die Qual.
- 6) Tac. ann. 15,62,1: *imaginem vitae suae*. Leider ist das Folgende, das Wichtigste enthalten haben dürfte, verderbt. Es scheint mir nicht möglich, daß er gestand, für sich den Ruf eines rechtschaffenen Lebens und einer aufrichtigen Freundschaft bei der Nachwelt zu gewinnen.
- 7) Belege für diesen Vorwurf (das Zitat: Wilamowitz, Glaube der Hellenen 2, ²1955, 439) z. B. Wege der Forschg. 414, Seneca als Philosoph, 1975, 7; vgl. H.-P. Bütler – H. J. Schweizer, Seneca im Unterricht, Heidelberg 1974, 62, A. 4. Man wird nicht weiter kommen als Griffin 286 ff. in der Beurteilung dieser Angriffe.
- 8) Zu Senecas Lehre vgl. bes. Grimal 229/291. Lesenswertes für den, der sich schnell orientieren will, auch bei Bütler-Schweizer (s. A. 7) 13/61 (nur wird hier in Kapitel geteilt, was bei Seneca ein Ganzes ist, und Kap. XIII ist naturgemäß kein „Kapitel aus der Logik“: ep. 58 hat mit „Logik“ nichts zu tun (vgl. mein „Bau von Senecas Ep. Mor., Heidelberg 1970, 136; P. Donini, Modelli filosofici e letterari, Bologna 1979, 179/208).
- 9) U. Knoche, Der Philosoph Seneca, 1933, 14; abgedr. in „Seneca als Philosoph“ (s. A. 7) 18.
- 10) Dargelegt insbes. von H. Boeder, Topologie der Metaphysik, Freiburg 1980, 173.
- 11) Zur Adiaphora-Lehre M. Pohlenz, Die Stoa, Bd. 1 (³1964), 121 ff.
- 12) Über die tägliche Bewährung Knoche 16 (im Abdruck (s. A. 9) S. 19; Sen. ep. 16. Die hellenistische Philosophie will nichts als diesem täglichen Ringen Hilfe leisten, nicht anders sind Horazens Briefe zu lesen: auch sie wollen die Dogmata anwenden helfen, dem Zurückfallenden aufhelfen; sie stellen den Weg zur Gesundheit und die Krisen dar (G. Maurach, Der Grundriß von Horazens Epistelbuch, Acta Class. 11, 1968, 73 ff., vgl. GGA 233, 1981, 65 ff.).
- 13) Hierüber P. Grimal a. O. 228. Zu Senecas zweiter Frau vgl. RE 21, 2292, Nr. 130.
- 14) Ein senecanisches Bild: ep. 52, 5 f. Zum Wort vom Leben als einer Kunst vgl. Sen. de ot. 4, 2 (I. Dionigi, Lucio Anneo Seneca – De Otio, Brescia 1983, 217); ep. 90, 44; M. Lausberg, Untersuchungen zu Senecas Fragmenten, Berlin 1970, 104; Pohlenz, Stoa 2, 65. Es ist nicht wahr, wie zumeist gesagt wird, zwischen *ars* und *scientia* bestehe kein Unterschied, denn nirgends findet sich *ars rerum divinarum et humanarum*, sondern immer nur *scientia rerum div. et human.*: der Unterschied müßte einmal deutlich gemacht werden.
- 15) Vgl. brev. vit. 6,3. L. Marcuse, Pessimismus, S. 48; s. Grimal 123, 213.
- 16) Vgl. oben A. 7. Seneca hatte selber zu diesen Vorwürfen des Suillius (Tac. ann. 13,42) Stellung genommen: die *vita beata* 18 ff.
- 17) S. oben A. 10 und Sen., vit. beat. 17,3, dazu Knoche 15.
- 18) Ep. 52. Seneca ist weit davon entfernt, sich als vollkommenen Weisen hinzustellen: ep. 42,1; vit. beat. 17,3; Helv. 5,2. Das Vorbildliche sah er darin, daß er trotz dieser Behinderung den Weg gewagt und beschritten hatte, Knoche 15.
- 19) L. Marcuse, Aus den Papieren eines bejahrten Philosophie-Studenten, 1964, 64 ff.
- 20) P. Tillich, Der Mut zum Sein (1952 engl.), Ges. Werke 11, 1969, 20/3: „Wie ist der Mut der Weisheit möglich?“ (23), d. h. es geht um den „ontologischen Charakter des Mutes“ (22).
- 21) Ep. 31,5; dieser Satz negiert Gnade, Schuld und all' das, was Augustin in seinen antipelagianischen Schriften verteidigte (kurz: H. von Campenhausen, Lateinische Kirchenväter, Urban-Buch 50, 1965, 203 ff.
- 22) Der Grund-Text ist ep. 41; eine Interpretation: Seneca als Philosoph (s. A. 7), 352 ff.
- 23) München 1984. Was Sørensen unter Humanismus versteht, sagt er S. 295: Seneca habe „am konsequentesten“ die „epochemachende“ Erkenntnis vertreten, „daß der einzelne Mensch, unabhängig von seinem sozialen Rang, an sich Wert besitzt“; darin sehe ich keineswegs eine epochemachende Entdeckung und auch nicht Senecas Leistung. Gesamturteile Sørensens

165, 281 ff., 292. Man wird Sørensen den Ernst nicht absprechen, wohl aber die Eindringlichkeit.

²⁴⁾ Erschienen bei Langen Müller, München-Wien 1975. – Nicht setze ich mich mit dem Seneca-Verständnis in G. Grass, „örtlich betäubt“ auseinander (erschienen 1969). Seneca ist hier nur Folie, man verwendet ihn zu Pose und Geste, und die – an sich eindringlichen und klugen – Bemerkungen von W. Rutz, Stoa und Stahlbeton, Gymnas. 89, 1982, 122/34 tun diesem sehr zeichnend, letztlich bei aller Raffinesse der Darbietung nichtssagenden Schriftwerk zu viel Ehre an.

²⁵⁾ Das Nietzsche-Zitat: Werke, Leipzig ²1901, Bd. 12.

2. 11. 1985 in Braunschweig

Kants ‚Ding an sich‘ als Grenzwert wissenschaftlicher Beschreibung in den schönen Künsten“

(Zusammenfassung)

Von **Martin Gosebruch**

An den aktuellen Spielarten abstrakter Kunst war die kunstwissenschaftliche Beschreibung stets nur insoweit beteiligt, als sie Bezüge zur Zeiteinheit ihrer Entstehung und Konsumtion herstellte. Die Bewertung war durch den Kunstmarkt immer schon vorweggenommen als Akt bloßen Wollens ohne Inhalt an Erkenntnis. Angesichts intendiert nicht mehr schöner Künste ist Erkenntnis ohnehin nicht recht gefragt. Das Referat stellt aber die These auf, daß der Gehalt an Schönheit im Kunstwerk noch zu keiner Zeit Gegenstand von beschreibender Erkenntnis geworden ist. Daß er ohne Begriff gefällt, war Kants Einsicht, in Fortführung des älteren „je ne sais quoi“. Sie findet sich wieder in Goethes Wort „Das Würdige beschreibt sich nicht“ und dem des Jean Paul „Ein Schönes kann nur durch ein zweites Schönes sowohl bezeichnet werden als erweckt“.

Kants Grundunterscheidung von Erscheinung und Ding an sich ist nun als Denkfigur geeignet, die Grenze zwischen Beschreibbarem und nicht Beschreibbarem am Kunstwerk aufzuweisen und die Möglichkeit des Beschreibens am Raum-Zeitlichen zu begründen wie auch Grenzübertreten zu wehren.

Wird gedruckt in: „Wege zur Kunst – Wege zum Menschen“, Festschrift für Heinrich Lützeler zum 85. Geburtstag. Herausgegeben von Frank Heinrich Kroll. Bonn 1987.

Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte

Die Kommission führte am 8.10.1985 ihre Jahresversammlung als Programmsitzung durch. Anschließend veranstaltete sie vom 9. – 12. 10. 1985 zusammen mit dem Herzog Anton Ulrich-Museum (Direktor Dr. Rüdiger Klessmann) zum Thema „Helmarshausen und das Evangeliar Heinrichs des Löwen“ ein wissenschaftliches Symposium, das auch international gut besucht war und das mit einer Exkursion nach Helmarshausen abschloß. Auf diesem Symposium wurden die folgenden Referate gehalten und diskutiert:

Eckhard Freise, Münster

„Von Theophilus-Roger bis zu Hermann von Helmarshausen – Der ‚Künstlerkonvent‘ aus der Sicht des Historikers“

Hermann Fillitz, Wien

„Rogerus von Helmarshausen“

Hiltrud Westermann-Angerhausen, Münster

„Die Forschungslage zu den beiden Roger-Tragaltären“

Peter Lasko, London

„Zum Engerer Kreuz“

Anton van Euw, Köln

„Vom Evangeliar Ludwigs MS. II 3 in Malibu zum Heinrichs-Evangeliar – Entwicklung und Ausstrahlung Helmarshausens“

Elisabeth Klemm, München

„Das Evangelistenbild in der Buchmalerei Helmarshausens“

Søren Kaspersen, Kopenhagen

„Dänemark und Helmarshausen – Eine revidierte Beurteilung“

Michael Brandt, Hildesheim

„Zur Hildesheimer ‚Rogerwerkstatt‘“

Renate Kroos, München

„Zum Liber Vitae von Corvey“

Neil Stratford, London

„Three enamelled plaques in The British Museum: a new acquisition“

Paul G. Schmidt, Marburg

„Das Widmungsgedicht im Herimanevangeliar“

Frank N. Steigerwald, Braunschweig

„Das Widmungsbild im Herimanevangeliar und die ältere Tradition der Widmungsbilder“

Ursula Nilgen, München

„Zum theologischen Konzept und der Bildorganisation im Evangeliar Heinrichs des Löwen“

Aliza Cohen, Jerusalem

„Labor Herimanni“

Ursula Mende, Nürnberg

„Bronzegerät im Kreise des Roger von Helmarshausen“

Franz Ronig, Trier

„Zur Heriman-Handschrift Dombibliothek Ms. 142 des Trierer Domschatzes“

Heidi Kaufmann, Princeton

„Eine neuentdeckte Handschrift der Herimangruppe“

Roberto Salvini, Florenz

„Von Rogerus von Helmarshausen zu Nikolaus von Verdun“

Martin Gosebruch, Braunschweig

Zusammenfassung

in Helmarshausen

Günther Binding, Köln

„Die Baugeschichte der Klosterkirche Helmarshausen – Ergebnisse der Ausgrabung“

Dethard von Winterfeld, Mainz

„Der Zentralbau der Johanniskapelle in der Krukenburg über Helmarshausen“

Die Ergebnisse des Symposions werden als Band 4 der Schriftenreihe der Kommission erscheinen.

Das von der Kommission betriebene Forschungsvorhaben „Barock in Niedersachsen“ mußte durch den Tod der mit der Durchführung beauftragten Wissenschaftlerin unterbrochen werden. Es wird 1986 unter Leitung von Prof. Dr. Dr. Hans Reuther fortgesetzt.

Öffentliche Veranstaltungen

Im Rahmen der die Feierliche Jahresversammlung begleitenden öffentlichen wissenschaftlichen Vortragstagung wurden am 17. 5. 1985 folgende Vorträge gehalten:

Einiges über Biokatalyse und Möglichkeiten ihrer Anwendung*

Von **Helmut Simon**, Technische Universität München

Die Begriffe „Katalysator“ und „Bio“ werden heute ständig gebraucht. Sie sind in Mode! Täglich können wir über das sogenannte Katalysatorauto lesen und Bio bzw. biologisch wird heute gerne mit vielen verschiedenen Produkten und Begriffen kombiniert. Ich hoffe, daß ich niemanden enttäusche, wenn ich feststelle, daß ich keinen Vortrag zu halten beabsichtige, in dem ich der Zeitmode Referenz erweise. Die Absicht, die ich mit diesem Vortrag verfolge, wäre dann einigermaßen erreicht, wenn mir zweierlei gelänge:

1. Auch bei Ihnen ein gewisses Maß an Staunen hervorzurufen, selbst wenn alle Fakten, die ich bringe, Ihnen bekannt sind. Wir haben ja die Fähigkeit zu staunen etwas verloren. Ich ver falle ihm aber immer wieder, wenn ich mir als Chemiker wichtige Erscheinungen der Biokatalyse vergegenwärtige.
2. Zu zeigen, daß und warum wir in der Anfangsphase einer sehr stürmischen Entwicklung stehen, die durch die Biologie geprägt ist, was aber nichts anderes ist als eine Folge der Entwicklung von Chemie und Physik, aufgrund deren Fortschritte es eben heute möglich ist, viele Erscheinungen der Biologie auf molekularer Ebene zu verstehen und zu nutzen.

Kurzer geschichtlicher Rückblick

Katalytische Erscheinungen nutzte die Menschheit seit Urzeiten, ohne sich dessen bewußt zu sein. Schon die ältesten Kulturvölker bereiteten alkoholische Getränke durch Fermentation von zuckerhaltigen Lösungen. Interessanterweise forderten die arabischen und europäischen Alchimisten in Form des sogenannten Steins der Weisen einen Stoff, der wesentliche Kennzeichen eines Katalysators birgt. Er sollte nämlich das Streben anderer Stoffe, sich umzuwandeln, anfachen.

Diese Kenntnisse und Ideen führten jedoch zu nichts. Dies änderte sich mit dem Beginn der experimentellen Naturwissenschaften nach der französischen Revolution. In rascher Folge wurden Beobachtungen beschrieben, wie z.B., daß Holz- bzw. Knochenkohle die Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff bei niedriger Temperatur bewirken (VOGEL, 1812). Es zeigte sich bekanntlich, daß Platin eine Reihe von Reaktionen beschleunigt. Biokatalytische Erscheinungen wurden noch früher beschrieben,

* schriftliche Fassung eines Vortrags vom 17. 5. 1985

so z.B. die eiweißspaltende Wirkung des Saftes von **Carica papaya** durch Hughes 1750 und 1783 die Beobachtung, daß Fleisch vom Magensaft von Vögeln verflüssigt wird. PAYEN und PERSOZ (1833) beschrieben die Isolierung eines weißen, in Wasser löslichen Materials aus Malzextrakt, das in der Lage war, Stärke rasch zu verflüssigen. Sie nannten diese aktive Substanz Diastase (siehe FLORKIN, 1972).

Eine eigentliche Katalyseforschung setzte ein, als 1836 Berzelius bemerkte, daß all diesen Erscheinungen ein gemeinsames Merkmal eigen ist, nämlich die Beeinflussung einer Reaktion zweier Stoffe durch einen dritten Stoff. Er bezeichnete dieses Phänomen katalytische Kraft, die darin bestehe, „daß Körper durch ihre bloße Gegenwart und nicht durch ihre Verwandtschaft Affinitäten zu wecken vermögen, welche bei diesen Temperaturen schlummern . . .“ (zitiert nach PRANDTL, 1948). Eine schärfere Fassung des Katalyseprinzips erfolgte jedoch erst 1900 durch W. Ostwald, durch die berühmt gewordene Definition: „Ein Katalysator ist ein Stoff, der ohne im Endprodukt der Reaktion zu erscheinen, ihre Geschwindigkeit verändert“. Es soll hier nicht darauf eingegangen werden, daß diese Definition Modifikationen erfahren hat, sondern wir wollen uns jetzt auf die Biokatalyse beschränken. Berzelius formulierte in einem Brief an Liebig (23. 8. 1839) seine Auffassung über die Katalyse bei biologischen Vorgängen, in dem er schreibt: „ . . . daß die Theorie der Gärung, Verwesung, Fäulnis etc. am allerwahrscheinlichsten darauf hinausgeht, daß viele organische Körper auf andere durch katalytische Kraft einwirken und ihre Zerstörung dadurch hervorbringen, indem sie selbst, unabhängig davon, durch die Affinitäten ihrer Elemente nach und nach zerstört werden. Die bei den Prozessen des lebenden Körpers stattfindenden Metamorphosen sind ohne eine solche katalytische Kraft der besonderen Gewebe, worin sie eingehehen, ganz unerklärlich“ (zitiert nach PRANDTL, 1948).

Während also bereits 1833 durch Alkohol aus einem wäßrigen Malzextrakt ein Ferment, in roher Form ausgefällt wurde, gab es durch den großen Louis Pasteur eine Verzögerung in der Entwicklung, weil er 1850 postulierte, daß die Wirkung der Fermente, die z.B. die alkoholische Gärung bewirken, von der lebenden Hefe nicht zu trennen sei. Man hatte also auf der einen Seite Fermente wie Diastase, Proteasen und Glykosidasen und auf der anderen Seite die Wirkung der Hefe bei der alkoholischen Gärung. Über 40 Jahre hielt sich die Vorstellung, daß es sich hier um recht verschiedene Erscheinungen handelt. Zum Beispiel sprach man von den ungeformten Fermenten, im Gegensatz zu den geformten Fermenten, die aus Zellen bestehen. Die angenommene Unterscheidung kommt z.B. durch Carl von VOIT (1879) wie folgt zum Ausdruck: „Die meisten und hauptsächlichsten Umsetzungen in den tierischen Organismen lassen sich jedoch **nicht** durch ungeformte Fermente erzeugen“ oder C. von NÄGELI (1881) schreibt: „Will der Organismus in Räumen und auf Entfernungen, auf die er keine Macht durch die Molekularkräfte der lebenden Substanz auszuüben vermag, chemische Prozesse beeinflussen, so scheidet er Fermente aus. Die letzteren sind besonders tätig in Hohlräumen des tierischen Körpers, im Wasser, in welchem Pilze leben, in plasmaarmen Zellen der Pflanzen. Es ist selbst sehr fraglich, ob der Organismus jemals Fermente bilde, welche innerhalb des Plasmas wirksam sein sollen; denn hier bedarf er ihrer nicht, weil ihm in den Molekularkräften der lebenden Substanz viel energischere

Mittel für chemische Wirkung zu Gebote stehen.“ Daher waren die Versuche Eduard Buchners so wichtig, der 1897 zeigte, daß die Fermente oder Enzyme, wie sie dann genannt wurden und die die alkoholische Gärung bewirken, aus Hefe abgetrennt werden können und ihre Wirkung nicht an das Vorhandensein lebender Hefezellen gebunden ist.

Schon vor der Jahrhundertwende stellte Emil FISCHER (1894) die ersten systematischen Studien über die Spezifität von Enzymen an. Vor ca. 60 Jahren wurde das erste Enzym, nämlich die Urease, durch James SUMNER (1926) kristallisiert. Obwohl Sumner zeigte, daß es sich ausschließlich um ein Protein handelt, hat sich die Idee, daß Enzyme Proteine seien, nur schwer durchgesetzt. Ein Hauptwidersacher dieser Vorstellung war R. Willstätter. Er vertrat lange die Ansicht, daß die enzymatische Katalyse durch niedermolekulare Verbindungen bewirkt wird, und daß es sich bei dem Protein-

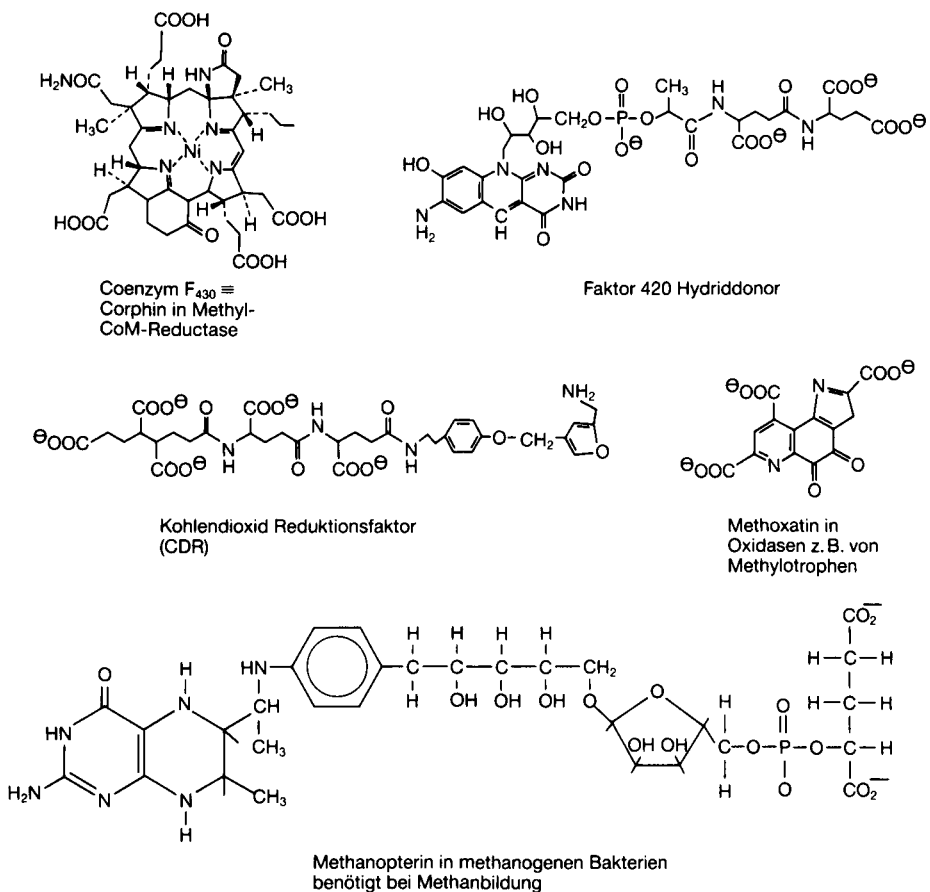


Abbildung 1:

In den letzten Jahren aufgefundene neue Coenzyme bzw. prosthetische Gruppen

anteil um Verunreinigungen handelt. In der Folge wurden jedoch viele Enzyme isoliert und mehr oder weniger gut charakterisiert. Wir können feststellen, daß die Geschichte der Biochemie und Molekularbiologie zu einem ganz wesentlichen Teil die Geschichte der Enzymologie ist. Diese Entwicklung ist noch lange nicht abgeschlossen. Dies gilt auch für die Chemie der niedermolekularen Komponenten, die viele Enzyme für ihre Aktivität benötigen. Bekanntlich kann man ja die zwei- bis dreitausend bekannten Enzyme u. a. in zwei große Gruppen einteilen. Die eine Gruppe enthält wirklich nur Protein, d. h., sie ist nur aus Aminosäuren aufgebaut, und die andere Gruppe benötigt neben dem Protein niedermolekulare organische Verbindungen in Form von sogenannten Coenzymen bzw. prosthetischen Gruppen und/oder Metallionen. Nach der Kristallisation der Urease dauerte es noch 50 Jahre, bis man vor ca. 10 Jahren fand, daß für Urease Nickel essentiell ist. Weitere, erst in den letzten Jahren aufgefundene Coenzyme bzw. prosthetische Gruppen sind in Abb. 1 dargestellt (WALSH, 1984). Sie wurden meist in den zu den Archaeobakterien gehörenden methanogenen Bakterien gefunden und werden für die Reduktion von Kohlendioxid zu Methan und für eine Carbonylierungsreaktion benötigt.

Soweit ein ganz kurzer Abriß der Entwicklung.

Beispiele der Biokatalyse

In welcher Form können wir das Ergebnis von Biokatalyse betrachten? Ich will diese Frage etwas unkonventionell behandeln. Versuchen wir einmal zu errahnen, was es heißt, wenn unter günstigen Bedingungen in 20–30 Minuten aus einer Colizelle eine zweite Zelle mit einem geschlossenen Hüllsystem, bestehend aus einer äußeren Membran, einer Zellwand und einer cytoplasmatischen Membran entstanden ist. Außer der komplexen Umhüllung, die wir gar nicht weiter betrachten wollen, enthält eine Zelle folgendes:

Tabelle 1:
Zusammensetzung einer *Escherichia coli*-Zelle

Komponente	Prozent vom Gesamtgewicht	ungefähre Zahl der verschiedenen Moleküle
Wasser	70	1
DNA	1	1
RNA	6	3000
Proteine	15	3000
Polysaccharide	3	5
Lipide	2	20
Bausteine und Intermediate	2	500
Anorganische Ionen	1	20

Was ist damit in einer halben Stunde passiert? Es ist z. B. ein DNA-Molekül entstanden mit einem Molgewicht von ca. 3 Milliarden, d. h., es wurden ca. 5 Millionen

Bausteine in der richtigen Reihenfolge miteinander verbunden. Wenn wir das mit einer Folge von Buchstaben vergleichen, so heißt das, ein stattliches Buch, z. B. vom Umfang eines Romans von Thomas Mann wie „Der Zauberberg“ mit 1000 Seiten, ist in 30 Minuten, mit hoher Wahrscheinlichkeit völlig fehlerfrei, gesetzt worden. Die Wahrscheinlichkeit, daß die neu entstandene Zelle einen Fehler in ihrem DNA-Molekül enthält, ist nur ca. 0,5%. Hier haben wir es allerdings auch mit ganz speziellen Mechanismen zu tun und bereits ein eindeutiges Beispiel dafür, daß Biokatalyse nicht auf die Wirkung von Enzymen beschränkt ist. DNA-, RNA- und Proteinsequenzen werden im Gegensatz zu anderen Biopolymeren, wie z. B. Heteropolysacchariden, immer von Vorlagen abgeschrieben bzw. von Vorlagen übersetzt, und bei der Nukleinsäurebildung liegt die Spezifität nur z. T. bei den Enzymen und ganz besonders in der spezifischen Wechselwirkung zwischen den Bauelementen der abzuschreibenden bzw. zu übersetzenden Matrix und den neu aneinander zu fügenden Bausteinen. Bei der DNA-Bildung gibt es darüber hinaus noch den Vorgang des Korrekturlesens. Es wurde festgestellt, daß ein fertig gebildetes DNA-Molekül nur ca. 1 Fehler pro 10^9 Bausteinen aufweist. Wir müssen jedoch annehmen, daß allein aufgrund der Keto-Enol- bzw. Amino-Imino-Tautomerie der Basen der Nukleotide Fehler bei jedem zehn- bis hunderttausendsten Baustein zu erwarten sind. Es gibt nun spezielle Enzyme, die Fehler in der DNA nachträglich eliminieren. Auch bei der Proteinsynthese kommt es bei der Bildung der Enzym-Aminosäure-AMP-Komplexe zu mehr Fehlern als anschließend im Protein zu beobachten sind. Auch dieses scheinbare Paradoxon, daß das Ergebnis einer Summe von Reaktionen genauer ist als eine Teilreaktion, kann heute aufgrund von intermediären Korrekturen verstanden werden (FERSHT, 1985).

Wir sehen in Tabelle 1, daß bei der Bildung einer Zelle ca. 5 mal mehr RNA- als DNA-Bausteine miteinander verknüpft wurden. Für die Proteine ist es notwendig, ca. 150 Millionen Aminosäuren in einer halben Stunde miteinander zu verknüpfen. Hier beobachten wir allerdings eine höhere Fehlerrate. Sie kann grob 1 Fehler pro Seite in unserem Thomas Mann-Roman betragen. Allerdings sind die Fehler überwiegend wenig gravierend, d. h., es wäre z. B. in unserer Analogie ein „e“ durch ein „ä“ ersetzt, so daß es kaum zur Entstellung des Sinns kommt. Bei der Synthese der ca. 3000 verschiedenen Proteinmoleküle wurde noch etwas besonderes geleistet, indem diese in ganz unterschiedlichen Mengen dargestellt wurden, nämlich in den Mengen, in denen sie gebraucht werden. Hier bestehen Unterschiede von Größenordnungen. Außerdem wurde eine ganze Reihe von Proteinen in Anpassung an die Umgebung synthetisiert. Andere, für die Information vorhanden ist, die aber aufgrund des Milieus nicht gebraucht werden, werden nicht gebildet.

Was stand eigentlich der Zelle zur Verfügung, um diese Syntheseleistung, z. B. 100000 Peptidbindungen pro Sekunde zu knüpfen: Es sind dies Information, Energie in Form energiereicher Moleküle, Bausteine und „intelligente“ Moleküle, die die Information lesen, die Energie nutzen und die richtigen Bausteine in an sich endergonen Reaktionen in ungeheurer Geschwindigkeit unter energetischer Kopplung mit energiereichen Molekülen aneinanderfügen. Diese „intelligenten“ Moleküle, diese Katalysatoren, sind die Enzyme.

Was in den 30 Minuten passiert ist, können wir wie folgt zusammenfassen:

- Aufbau zahlreicher komplexer Moleküle mit hoher Geschwindigkeit \triangleq Reaktionsbeschleunigung
- Aufbau zahlreicher komplexer Moleküle mit hoher Genauigkeit \triangleq Selektivität
- Aufbau zahlreicher komplexer Moleküle in einem für die Zelle sinnvollen, vermutlich nahezu optimalen Verhältnis \triangleq Regulation.

D.h., wir verstehen unter Biokatalyse:

- Reaktionsbeschleunigung
- Reaktionsselektivität und
- Regulation.

An der Reaktionsselektivität und Regulation sind nicht nur die Enzyme, sondern auch andere Strukturen, wie die zu kopierenden, transkribierenden und translatierenden Biomoleküle sowie Wechselwirkungen von Biopolymeren untereinander, wie niedermolekulare Stoffe mit Biopolymeren beteiligt. Das gemeinsame Prinzip dieser Wechselwirkungen ist das der Komplementarität von Strukturen. Wir können allgemein sagen, Komplementarität ist die Basis biologischer Spezifität und damit auch ein entscheidendes Element der Biokatalyse.

Um zu erahnen, ich verwende das Wort bewußt zum zweiten Mal, was die beobachtete Reaktionsbeschleunigung bedeutet, müßten wir experimentell die Geschwindigkeit nicht katalysierter und katalysierter Reaktionen vergleichen. Dies ist jedoch bei solch komplexen aufbauenden Reaktionen nicht möglich, weil es keine unkatalysierte Reaktion gibt. Daher wollen wir vergleichen, was wir Chemiker oder genauer gesagt, die auf diesen Gebieten erfahrensten Chemiker, mit den inzwischen entwickelten Methoden und Maschinen können. Dieser Vergleich soll nur in Form von Größenordnungen erfolgen: Es lassen sich mit entsprechenden Automaten pro Arbeitstag etwa ein Dekamer von 2-Desoxynukleotiden herstellen. Mit zunehmender Kettenlänge wachsen die Schwierigkeiten überproportional. Trotzdem hat eine Gruppe von 14 Wissenschaftlern, darunter Khorana und Büchi 1972 das Gen für eine tRNA synthetisiert. Dieses Ergebnis wird zurecht als epochal betrachtet. Als Frucht jahrelanger Bemühungen ist es mit einer an Besessenheit grenzenden Arbeitsintensität gelungen, ein relativ einfaches der ca. 10–20000 Gene einer Hefezelle, die sich in ca. 2 h verdoppelt, zu synthetisieren. Der heutige Preis eines Milligramms eines definierten Oligomers, bestehend aus 10–20 Desoxynukleotiden, liegt z. Zt. etwa bei 10000 DM. Ich weiß, daß dies, mild ausgedrückt, eine etwas ungewöhnliche Betrachtungsweise ist.

Wenn es auch so ist, daß die Syntheseleistung einer Colizelle viele Größenordnungen höher ist, als die eines unter optimalen Bedingungen arbeitenden Chemikers, so besteht gerade der ungeheure Fortschritt der letzten Jahrzehnte darin, daß auf gewissen Teilgebieten der Syntheseleistung einzelner Zellkomponenten nur noch quantitative Unterschiede zwischen dem Synthese-Chemiker und der Fähigkeit von Zellen bestehen, die man sich durch Vergleiche einigermaßen klar machen kann.

Was die anderen Biopolymere, die in einer Zelle gebildet werden, betrifft, so kann man sagen, daß die Möglichkeiten der heutigen synthetischen Chemie in keinem Fall günstiger sind, als wir uns gerade beim Vergleich der DNA-Synthese klar gemacht haben. In einigen Fällen, wie z.B. schon bei der RNA- oder Polysaccharid-Synthese, sieht es sogar viel ungünstiger aus.

Bisher haben wir nur die Geschwindigkeit der Verknüpfung von Bausteinen etwas betrachtet. Bei der Biosynthese von Biopolymeren haben wir jedoch noch die Erscheinung, daß die verschiedenen Biopolymere in der zur Verfügung stehenden Zeit, eine ganz bestimmte, für die biologische Aktivität ausschlaggebende Raumstruktur einnehmen. Diese Problematik sei kurz am Beispiel der Proteine in Form einiger Teilaspekte erwähnt. Es wird heute aus guten Gründen angenommen, daß die biologisch aktive höhere Struktur, d.h., eine bestimmte räumliche Struktur in einem gegebenen, in der Regel engen Temperatur- und Milieubereich, durch die Primär-Struktur der Bausteine gegeben ist. Diese Raumstruktur wird in einem autokatalytischen Prozeß gebildet. Relativ kleine Proteine, wie z.B. die besonders gut untersuchte Ribonuclease mit 124 Aminosäuren, findet ihre Raumstruktur unter physiologischen Bedingungen mit einer Halbwertszeit von ca. 10 Sekunden. Nach akzeptierten Abschätzungen würde die Zeit für die Faltung in Form eines rein stochastischen Prozesses ca. 60 Größenordnungen höher liegen. Dieser Zeitraum ist unvorstellbar, wenn man sich daran erinnert, daß das geschätzte Alter unserer Erde mit ca. 4 Milliarden Jahren nur ca. 10^{17} Sekunden beträgt. Wir müssen also folgern, daß die ungeheure Beschleunigung, mit der der biologisch aktive Zustand des Proteins erreicht wird, ein kinetisch zugängliches, absolutes oder lokales Energieminimum ist, das auf einem eindeutigen Faltungsweg mit einer extrem geringen Zahl der Intermediärzustände erreicht wird. In diesem Zusammenhang wird die Frage eines Proteinfaltungscodes aufgeworfen (JAENICKE, 1984). Dieser Code würde die Korrelation zwischen Primärstruktur und räumlicher Struktur darstellen. Hier handelt es sich vielleicht um eine der interessantesten Fragen der Proteinchemie, der neben ihrer theoretischen Bedeutung auch hohe praktische Bedeutung zukommen könnte.

An dieser Stelle wird deutlich, daß wir unter dem Begriff Biokatalyse nicht nur die Erscheinung der Reaktionsbeschleunigung durch Enzyme verstehen sollten, sondern auch intrinsische Eigenschaften der Substrate und Produkte der Enzyme wie z.B. von Nukleotiden, Aminosäuren und Proteinen. Diese haben sich während der Evolution wechselseitig optimiert, d.h., Biokatalyse und Evolution müssen in engem Zusammenhang gesehen werden.

In der Primärstruktur der Proteine steckt noch etwas, was beachtet werden muß (SCHULZ und SCHIRMER, 1979). Ich wies schon darauf hin, und dies ist ja auch allgemein bekannt, daß für viele Proteine die biologisch aktive Raumstruktur meist nur in einem engen Temperatur- und Milieubereich stabil ist. Wenn wir die Differenz für die freie Energie der nativ gefalteten Protienkette und der ungeordneten, d.h.

$$\Delta G_{\text{Kette}} = \Delta G_{\text{nativ}} - \Delta G_{\text{ungeordnet}} \text{ bilden,}$$

so gilt für die Gleichgewichtskonstante K , d.h., das Verhältnis der nativen Ketten / zur Zahl der ungeordneten Formen:

$$-RT \ln K = \Delta G_{\text{Kette}} = \Delta H_{\text{Kette}} - T \Delta S_{\text{Kette}}.$$

Dabei sind ΔH_{Kette} und ΔS_{Kette} wiederum komplexe Größen, die nicht nur die Wechselwirkung von Gruppen des Proteins miteinander, sondern auch mit dem Lösungsmittel und den gelösten Komponenten, wie Ionen etc., beinhalten. Jedenfalls ist ΔG_{Kette} eine relativ kleine Differenz zwischen zwei größeren, aber in ihrem Betrag ähnlichen Termen. In diesem Zusammenhang erhebt sich die interessante Frage, wieviel von der ungeheuren Zahl von Proteinen, die mit 20 verschiedenen Bausteinen möglich ist, auch die Fähigkeit haben, unter den sogenannten physiologischen Bedingungen eine definierte Struktur einzunehmen?

Nach dieser etwas ungewöhnlichen Art die Reaktionsbeschleunigung zu betrachten, will ich jedoch auch noch kurz die konventionelle Betrachtung hier anschließen, die nicht minder eindrucksvoll ist. Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß man in der Lage ist, enzymkatalysierte Reaktionen mit nicht enzymatisch katalysierten Reaktionen zu vergleichen. Bekanntlich beobachtet man dabei oft Geschwindigkeitserhöhungen von 10^6 und noch wesentlich mehr. Für die Hydrolyse von Harnstoff z.B., wird ein Faktor von 10^{14} angenommen (JENCKS, 1969). Diesem Phänomen wurde sehr viel Aufmerksamkeit gewidmet, und man muß aus der Fülle der Erklärungen schließen, daß sich bis jetzt keine Theorie überzeugend durchgesetzt hat. Es ist wohl vernünftig anzunehmen, daß wir es mit einer Reihe von Faktoren zu tun haben, die diese ungeheuren Beschleunigungen hervorrufen. Mit anderen Worten, ich neige zu einer reduktionistischen Auffassung und nehme an, daß wir deshalb die enzymatische Katalyse, d.h., die durch Enzyme bewirkte drastische Verminderung der Aktivierungsenergie noch nicht ganz verstehen, weil wir nicht fähig sind, die zahlreichen verschiedenen Parameter quantitativ zu fassen. Ich glaube nicht an eine Ganzheitsqualität, die nicht aus der Summe der einzelnen Faktoren und deren Analyse ableitbar ist. LIPSCOMB (1981) stellt folgende Faktoren zusammen:

Tabelle 2:

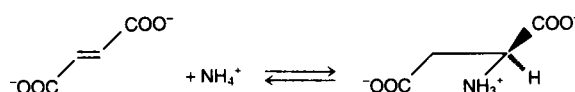
Die Faktoren, die nach LIPSCOMB für die Geschwindigkeitserhöhung durch Enzyme verantwortlich sind:

-
- (a) Übergangszustands-Bindung, d.h. eine Bindung der Substrate an das Enzym, die zu einer Dehnung bzw. Verdrillung des Substrats entlang der Reaktionskoordinate führt ($10^4 - 20^5$);
 - (b) Allgemeine Säure- und Basenkatalyse ($10^4 - 10^6$);
 - (c) Durch Substratbindung werden ungünstige Entropiezustände der Translations- und Rotationsschwingungen vermieden (10^5M bis 10^8M);
 - (d) Erhöhung der Polarisierung, Änderungen der pK_a -Werte, Ionenpaar-Stabilisierung, die nicht in (a) enthalten sind ($10^2 - 10^3$);
 - (e) Änderung der Hydratisierung beim Binden, im Übergangszustand und bei der Lösung des Produkts (keine Schätzung über Einfluß).
-

Ich möchte mich nun der Reaktionsselektivität bzw. Reaktionsspezifität zuwenden. (Beide Ausdrücke werden nebeneinander verwendet.) Hier können wir folgende Unterteilungen treffen:

- Reaktionsspezifität
- Substrat- bzw. Strukturspezifität
- Regio- und Stereospezifität.

Aus Zeitgründen will ich mich mit der Reaktionsspezifität nur kurz und mit der Substrat- bzw. der Regio- und Stereospezifität etwas ausführlicher befassen. Was die Substratspezifität angeht, kann man rein phänomenologisch feststellen, daß es Enzyme gibt, die ausschließlich ein Substrat bzw. ein Substratpaar umsetzen (BENTLEY, 1969, 1970). Das hierfür gern verwendete Schulbeispiel ist die Aspartase



Ganz anders verhalten sich z. B. die Alkoholdehydrogenase aus Leber oder Proteinasen, z. B. Chymotrypsin (JONES u. a., 1976).

Tabelle 3:

Vergleich der Geschwindigkeiten mit der verschiedene Alkohole mit der Hefe- bzw. Leberalkoholhydrogenase umgesetzt werden.

Substrat	Relative Geschwindigkeit der Alkoholdehydrogenasen aus	
	Hefe	Leber
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	100	100
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	9	120
$\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{OH}$	95	110
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	8	95
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$	0.01	67

Tabelle 4:

Vergleich der Geschwindigkeiten mit der verschiedene L-N-Acetylaminosäuremethylester durch Chymotrypsin hydrolysiert werden ($\text{R}-\text{CH}(\text{NHCOCH}_3)\text{COOCH}_3$)

R	$K_m(\text{mM})$	$k_{\text{cat}}(\text{sec}^{-1})$	$k_{\text{cat}}/K_m \cdot 10^{-3}$
CH_3-	739	1.27	1.72
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3-$	6.7	2.7	403
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2-$	1.27	52.5	42 000

Die nähere Betrachtung des Beispiels der Alkoholdehydrogenasen aus Leber und Hefe zeigt für praktische Aspekte wichtige Regeln: Verbindungen, die mit dem Enzym

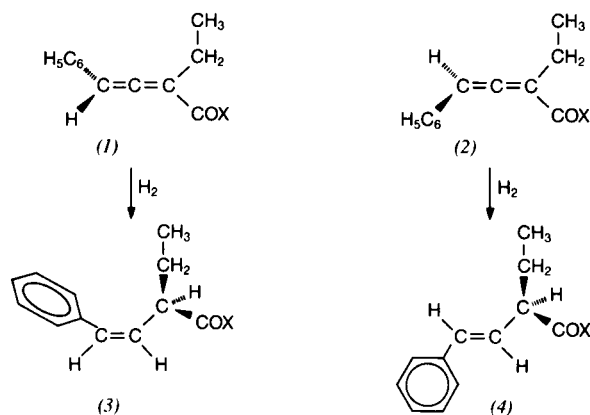
aus einem Organismus nicht umsetzbar sind, also keine Substrate sind, wie man auch sagt, können dies für Enzyme aus anderen biologischen Systemen durchaus sein. Weiterhin sollte man nicht zu früh Regeln aufstellen, wie der Vergleich verschiedener Substrate, z.B. für die Alkoholdehydrogenase aus Leber zeigt.

Bezüglich der Substratspezifität können wir als Regel festhalten, daß es keine allgemein gültige Regel gibt.

Sowohl vom wissenschaftlichen wie praktischen Aspekt sind die Regio- bzw. Stereospezifität von Enzymen von ganz besonderem Interesse.

Hier möchte ich ein Beispiel bringen, das wir vor 10 Jahren publizierten. Bei der Reduktion des Enantiomerenpaares der nachfolgend gezeigten Allencarbonsäuren kann man drei Spezifitäten unterscheiden (Abb. 2).

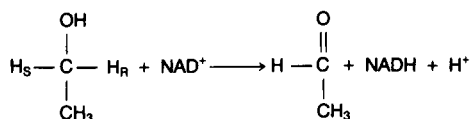
1. Von den beiden Doppelbindungen wird nur die α,β -Doppelbindung hydriert.
2. Die entstehende reduzierte Carbonsäure hat die R-Konfiguration an C-2.
3. Die R-enantiomere Allencarbonsäure wird nur in die E-Form und die S-enantiomere nur in die Z-Form der β,γ ungesättigten Carbonsäure umgewandelt (SIMON u. a., 1974).



Hydrierung von R-(1) und S-(2) Allencarbonsäuren (Simon u. a., 1974)

Abbildung 2

Enzymreaktionen verlaufen auch häufig stereospezifisch, wenn wir es gar nicht direkt beobachten können. Wir konnten durch die Verwendung der Wasserstoffisotope ^2H und ^3H z.B. zeigen, wie streng Alkoholdehydrogenase aus Hefe die beiden prochiralen Wasserstoffatome H_R und H_S



von Ethanol unterscheidet. Das pro R Wasserstoffatom des Ethanols wird mindestens 3500 mal häufiger abgespalten als das pro S H-Atom. Obwohl anzunehmen ist, daß viele Enzyme eine sehr hohe Stereospezifität aufweisen, gibt es bisher kaum Fälle, in denen die Stereospezifität so weitgehend bewiesen wurde. Dies entspricht z.B. bei der Herstellung von (R) $[1-^2\text{H}]$ Ethanol einem ee-Wert von 99.94% (GÜNTHER u. a., 1973). (Unter dem ee-Wert versteht man den Überschuß (enantiomeric excess) einer enantiomeren Form über die andere).

Besonders interessant sind naturgemäß Enzyme, die bei hoher Stereospezifität eine große Substratbreite besitzen. Wir haben einige solcher Enzyme in den letzten Jahren aufgefunden und zwei davon intensiver untersucht. Es handelt sich um Reduktasen, von denen die eine die C-C-Doppelbindung vieler α,β -ungesättigter Carbonsäuren, Aldehyde oder Ketone und die andere die Carbonylgruppe der verschiedensten 2-Oxocarbonsäuren reduziert. Diese Enzyme zeichnen sich auch dadurch aus, daß sie nicht die teuren Pyridinnukleotide als Coenzyme benötigen, sondern mit billigen elektrochemisch regenerierbaren Mediatoren reduziert werden können. Man kann ihnen also Elektronen von der Steckdose zuführen (SIMON, 1985).

Es soll jedoch nicht der Eindruck erweckt werden, daß alle Enzyme so stereospezifisch sind. Von der Regel, daß Enzyme stereospezifisch sind, gibt es mehr Ausnahmen als allgemein angenommen wird. Außerdem gibt es Enzyme wie die Racemasen, deren Aufgabe es ist, beide Enantiomere einer chiralen Verbindung in das Racemat umzuwandeln (BENTLEY, 1969/70). Soweit zu den Spezifitäten.

Die dritte wesentliche Komponente der Biokatalyse war die Regulation. Dabei handelt es sich um besonders komplexe Erscheinungen der Biokatalyse. Es sind verschiedene Ebenen der Regulation zu unterscheiden. Auch hier haben wir es mit wissenschaftlich wie praktisch außerordentlich wichtigen Erscheinungen zu tun, die z. T. noch recht wenig verstanden werden. Wenn wir z.B. die Teilung einer Körperzelle betrachten, so können wir bis jetzt nur eine Fülle unverstandener Schritte konstatieren. Noch weiter sind wir vom Verständnis der Regulationsmechanismen bei der Differenzierung entfernt. Wie kommt es dazu, daß die aus einer befruchteten Eizelle entstehenden Zellen anfangen, sich zu differenzieren unter Ausbildung der verschiedenen hochspezialisierten Zellen, die die verschiedenen Organe z.B. eines Säugetiers aufbauen? Die große praktische Bedeutung kommt daher, daß wir heute mit Sicherheit sagen können, daß sehr viele Krankheiten durch Defekte von Regulationen zustande kommen. Auch die biologischen Grundlagen der Stoffproduktion erfordern Verständnis und Eingriffe in Regulationsmechanismen.

Anwendungen

Wenn wir uns nun den Anwendungen zuwenden, so können wir feststellen, daß bis vor ca. 10 Jahren Biotechnologie zum großen Teil identisch mit industrieller Mikrobiologie war. Es gab jedoch noch zahlreiche Probleme und zunächst nicht überwindbare Hindernisse für die Herstellung vieler wichtiger Stoffe. Hierunter verstehe ich z.B. solche biologisch wirksamen Stoffe, die nur in Säugetieren gebildet werden und da

auch noch Spezies-spezifisch und weiterhin so komplex sind, daß sie nicht synthetisiert werden können.

Hier haben Fortschritte auf dem Gebiet der Molekularbiologie weitergeholfen. In aller Kürze kann man bekanntlich die Molekularbiologie und die dabei auftretende Biokatalyse wie folgt darstellen:

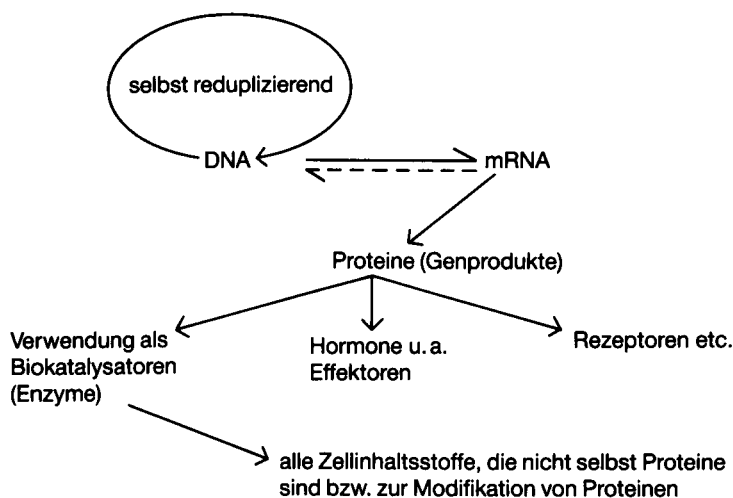


Abbildung 3

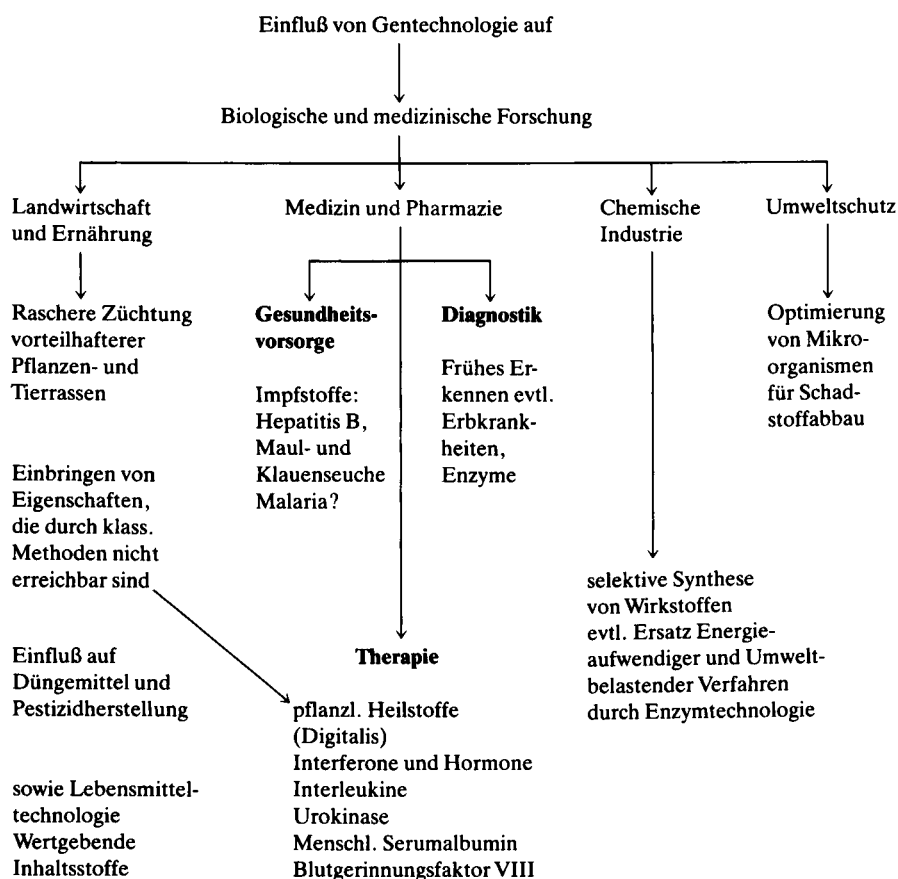
Die DNA enthält die Information für das Geschehen in der Zelle, und sie kann sich selbst vermehren. Man hat nun gelernt, biokatalytische Prozesse zu verwenden, um DNA aus ganz verschiedenen Bereichen des Lebendigen zu kombinieren und auch in ganz verschiedenen Zellarten in Funktion zu setzen. Die Bedeutung, z. B. ein Protein in einem Mikroorganismus herzustellen, anstatt in einem Säugetier, ergibt sich auch aus folgendem Vergleich: Ein Rind von 500 kg Gewicht produziert in 24 h ca. 0,5 kg Protein. 500 kg Hefe bei einer Verdopplungszeit von 3 h im gleichen Zeitraum ca. 50 000 kg.

Entscheidend für diese Entwicklung war das Auffinden einer neuen Gruppe von Enzymen, den sogenannten Restriktionsnukleasen durch Werner Arber in Basel gegen Ende der 60er Jahre. Erst durch diese Enzyme wurde das „Zerschneiden“ großer DNA-Moleküle in diskrete DNA-Fragmente möglich. Diese kann man sortieren, mit DNA aus anderen Quellen enzymatisch wieder verknüpfen, in Zellen einschleusen und vermehren. Auch modifizieren kann man die DNA. Diese rekombinante DNA-Technik oder Gentechnologie, wie sie auch genannt wird, ermöglichte, was man die neue Biotechnologie nennt. Ich will über diese in folgendem Sinne sprechen: Biotechnologie als Methodik der gezielten und rationellen Stoffgewinnung bzw. der Umwandlung von Stoffen mit biologischen Systemen unter, für die Umwandlung, optimalen Bedingun-

gen. Die biologischen Systeme, die wir als Biokatalysatoren nutzen, können von unterschiedlicher Komplexität sein, wie z. B. Enzyme, Organelle, Zell- und Gewebekulturen oder vielzellige Organismen. Ich will hier nicht sprechen über Gentherapie, Embryotechnologie oder Keimbahn-Gentherapie. D. h., ich will kurz über moderne biotechnologische Stoffproduktion sprechen.

Die Auswirkungen der Gentechnologie kann man summarisch in nachfolgender Übersicht darstellen.

Tabelle 5:



Daraus wird ersichtlich, daß die rekombinante DNA-Technik, die man als spezielle Anwendung von Biokatalyse betrachten kann, für die biologische und damit auch die medizinische Forschung von größter Bedeutung ist. Ihre Ergebnisse werden auch von erheblichem Einfluß auf Landwirtschaft und Ernährung sein. Wesentliche Bedeutung hat man für die chemische Industrie und den Umweltschutz zu erwarten, bzw. diese

zeichnet sich bereits ab. Unabhängig davon, was letztlich die therapeutische Bedeutung von biologisch hochaktiven Stoffen, wie Interferonen, Wachstumsfaktoren, Lymphokinen etc. sein wird, sie werden jedenfalls wichtige Beiträge für unsere Kenntnis, bzw. dem Verständnis noch nicht verstandener biologischer Phänomene und auch Krankheitsprozesse liefern. Das wird wieder zur Entwicklung von rationalen neuen synthetischen Agentien führen. Was den Einfluß der neuen Biotechnologie auf die chemische Industrie betrifft, so kann man dies in Form von Thesen vielleicht kurz so darstellen:

Tabelle 6:

Zur Frage der Darstellung von Grundchemikalien durch mikrobielle oder chemische Synthese:

1. Mikrobielle Prozesse sind für einfache, stabile Grundchemikalien teurer als chemische Synthese und werden dies vermutlich auch in absehbarer Zeit sein.
2. Mikrobielle Prozesse können für die Gewinnung von Grundchemikalien sinnvoll sein, wenn sie bei der Beseitigung von Abfallstoffen oder bei der Verwertung von landwirtschaftlichen Überschußproduktion angewandt werden.
3. Mikrobielle Synthesen können sich da durchsetzen, wo aus politischen oder wirtschaftlichen Gründen keine freie Wahl für die Rohstoffe besteht. (Chancen für Verfahrensentwicklung und Export von Anlagen.)

Gegensynthese: (E. Lamphier)

“The major economic impact of genetic engineering will be even greater in the chemical and energy industries than in the health-care field”.

Aber hier könnte z.B. durch das Proteinengineering eine Änderung im Sinne der zuletzt genannten Gegenthese stattfinden.

Für die Herstellung teurer weil komplizierter, insbesondere labiler und/oder chiraler Produkte werden Biokatalysatoren wichtig sein. Dies ist wieder thesenhaft nachfolgend dargestellt.

Abschließen möchte ich mit einigen Ausführungen über das „Proteinengineering“ (FERSHT, 1984). Darunter versteht man die gezielte Veränderung von Proteinen durch ortsspezifische Mutation der entsprechenden Gene. Dies kann durch DNA-Rekombination oder chemische Synthese von DNA-Fragmenten erreicht werden. Voraussetzung für rationales Arbeiten ist, daß die Röntgenstruktur der zu modifizierenden Proteine bekannt ist. Eventuell genügt in Zukunft auch die Primärstruktur. Dies hängt davon ab, wie weit man die höheren Strukturen der Proteine aus deren Sequenz vorher-sagen kann. Die Aufklärung der höheren Strukturen von Proteinen ist in jüngster Zeit wesentlich beschleunigt worden. Wir haben hier ein typisches Beispiel, wie Entwicklungen auf ganz anderen Gebieten die Entwicklung der Biochemie vorantreibt. Hier sind es die Möglichkeiten von Elektronen-Synchrotrons und die rasche Steigerung der Leistungsfähigkeit von Computern. Wie sehr es beim Proteinengineering auf über-legtes und zielgerichtetes Arbeiten ankommt, sieht man sehr schnell, wenn man sich

Tabelle 7:

Zur Frage der Darstellung von komplexen, insbesondere labilen und/oder chiralen Produkten:

-
1. Häufig sind solche Stoffe nur durch die Verwendung von Biokatalysatoren rentabel zu gewinnen.
Dabei lassen sich folgende Fälle unterscheiden:
 - a) Der darzustellende Stoff wird ganz mit Hilfe von Zellen gewonnen, und die Zelle hat die Information für die Synthese.
Beispiele: Antibiotika, div. Aminosäuren.
 - b) In einer vielstufigen Synthese werden ein oder mehrere Schritte durch Biokatalyse bewerkstelligt.
Beispiele: Steroide, Prostaglandine, manche Aminosäuren oder Vitamine
 - c) Bei Prozessen mit Zellen wird die Information für die Biokatalyse auf DNA-Ebene in die Zelle einprogrammiert (Rekombinante DNA).
 2. Viele komplexe Stoffe lassen sich **nur** durch Zellen gewinnen.
Beispiele: Höhermolekulare Peptidhormone, Immunglobuline, Antigene, Antikörper, Enzyme, Interferone etc.
-

die berühmte Überlegung ins Gedächtnis zurückruft, die einen erahnen läßt, wie ungeheuer groß die Variationsmöglichkeiten bei Proteinen sind. Nehmen wir an, wir wollen alle Proteine aufbauen, die eine Kette von 61 Aminosäuren enthalten. Dies ist noch ein sehr kleines Protein. Für jede Position haben wir 20 Alternativen. Die Zahl der möglichen Proteine ist 20^{61} oder $5 \cdot 10^{79}$. Diese Zahl entspricht etwa der sechsfachen Zahl aller Atome im Universum. Wir werden also, gemessen an den möglichen, nur ganz wenige Modifikationen durchführen können. Dies können wir jedoch sehr gezielt im aktiven Zentrum oder an Regulationsstellen tun. So haben FERSHT et al. (1984) die kinetischen Daten von etwa 6 Mutanten des Enzyms Tyrosyl-t-RNA-Synthase publiziert. Mit dem Proteindesign hat man ein wunderbares Werkzeug für die Enzymologie und die Biokatalyse im allgemeinen. Die Struktur-Aktivitätsbeziehungen können direkt analysiert werden. Wir werden in der Lage sein, Fernwirkungen von Strukturveränderungen auf Aktivitäten und die Weiterleitung von Effekten durch Proteinuntereinheiten zu studieren. Fragen der Thermo- und Lösungsmittelstabilität von Enzymen können untersucht werden. Biotechnologisch interessante Enzyme können optimiert und für bestimmte Reaktionen maßgeschneidert werden. Vor allem aber wird unser Verständnis auf dem faszinierenden Gebiet der Biokatalyse erheblich zunehmen.

Literatur

- BENTLEY, R. (1969/70): Molecular Asymmetry in Biology, Vol. I and II, Academic Press.
 FERSHT, A. R. (1985): Enzyme Structure and Mechanism, Freeman Reading.

- FERSHT, A.R., SHI, J.-P., WILKINSON, A.J., BLOW, D.M., CARTER, P., WAYE, M.M.Y. and WINTER (1984): *Angew. Chem.* **96**, 455.
- FISCHER, E. (1894): *Ber. dtsh. chem. Ges.* **27**, 2992.
- FLORKIN, M. (1972): A History of Biochemistry, Part I, 265 in Florkin, M. und Stotz, H. (Hrsg.), *Comprehensive Biochemistry*, Vol. 30, Elsevier Publ. Comp.
- GÜNTHER, H., ALIZADE, M.A., KELLNER, M., BILLER, F. und SIMON, H. (1973): *Z. Naturforsch.* **28c**, 241 [s. zur Wertung der Daten Cornforth, J. (1982) in "Structure of Complexes Between Polymers and Low Molecular Weight Molecules", Bartmann Publ. Heyden/Wiley].
- JAENICKE, R. (1984): *Angew. Chem.* **96**, 385.
- JENCKS, W.P. (1969): *Catalysis in Chemistry and Enzymology*, McGraw-Hill, New York.
- JONES, J.B., SIH, Ch.J. und PERLMAN, D. (1976): *Applications of Biochemical Systems in Organic Chemistry*, Part I, J. Wiley & Sons, New York.
- LIPSCOMB, W.N. (1981): Hoppe Seyler's *Z. Physiol. Chem.* **362**, 389 and LIPSCOMB, W.N. (1981) in Eggerer, H. und Huber, R. (Hrsg.): *Structural and Functional Aspects of Enzyme Catalysis*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- NÄGELI, C. von (1879): *Theorie der Gärung*, Verlag der königl. Akademie, München.
- PAYEN, A. und PERSOZ, J.F. (1833): *Ann. Chim. (Phys.)* **53**, 73, zitiert nach Florkin (1972).
- PRANDTL, W. (1948): H. Davy, J.J. Berzelius: 2 führende Chemiker aus der 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts, Wiss. Verlagsges. Stuttgart.
- SCHULTZ, G.E. und SCHIRMER, R.H. (1979): *Principles of Protein Structure*, Springer, New York, Heidelberg, Berlin.
- SIMON, H., BADER, J., GÜNTHER, H., NEUMANN, S. und THANOS, J. (1985): *Angew. Chem.*, **97**, 541.
- SUMNER, J.B. (1926): *J. Biol. Chem.* **69**, 435.
- VOGEL, F.C. (1812): *J. Chem. Phys.*, **4**, 142, zitiert nach Florkin (1972).
- VOIT, C. von (1881) in Hermann's *Handbuch d. Physiologie*, Bd. 6, Teil I, Leipzig.
- WALSH, C.T. (1984): *Trends Biol. Sci.* **9**, 159.

Entwicklung technischer Katalysatoren

Von **Wolf Dieter Mroß**, Ludwigshafen

1. Einführung

Häufig übertrifft die Aktivität technischer Katalysatoren, wie z.B. bei der Ammoniaksynthese, bei weitem die von biologischen Systemen. Die Spezifität bzw. Selektivität von Biokatalysatoren wird zwar nicht ganz erreicht; bei Umsetzungen organischer Stoffe liegen die Selektivitäten aber in der Regel über 90%. Trotz der großen Erfolge technischer Katalysatoren und trotz der Ausstattung der Industrielabors mit modernsten Analysengeräten und vollautomatischen Testapparaturen klebt der technischen Katalyse immer noch das Image der Alchemie an. Dieser hohe Standard wurde nämlich weitgehend empirisch gefunden. So wurden bei der Entwicklung des NH_3 -Synthesekatalysators noch im Labor von Mittasch über 20 000 Katalysatoren gefertigt und geprüft [1]. In den letzten 70 Jahren wurden weitere fast 100 000 NH_3 -Synthesekatalysatoren weltweit in Industrie- und Forschungslabors gefertigt, ohne den von Mittasch entwickelten Katalysator entscheidend zu verbessern. Die Empire scheint ihre Grenzen erreicht zu haben. Eine wissenschaftliche Fundierung der Katalyse steckt aber noch in den Anfängen [2]–[7]. Während die Anforderungen an technische Katalysatoren immer höher geschraubt werden, beginnen wir – vor allem durch Arbeiten von Prof. Ertl [8]–[9] – nach und nach zu verstehen, wie Katalysatoren arbeiten, z.B. wie sich an Eisenkatalysatoren Ammoniak bildet [10].

2. Anforderungen an technische Katalysatoren [11]–[14]

Die Anforderungen an technische Katalysatoren erscheinen zunächst selbstverständlich: hohe Selektivität und Standzeit, Aktivität, Stabilität und eine geeignete Form. Man muß diese Anforderungen aber in Verbindung mit den Haupteinsatzgebieten technischer Katalysatoren sehen: den chemischen Großverfahren, die ihre eigenen wirtschaftlichen und technischen Gesetze haben.

2.1. Katalysatoreinsatzgebiet Großverfahren: Beispiel Ethylenoxid

Ethylenoxid – ein wichtiges Zwischenprodukt bei der Herstellung von Frostschutzmitteln, Tensiden, Kosmetika usw. – wird durch Umsetzung von Ethylen und Sauerstoff an einem Silberkatalysator gewonnen. Praktisch einzige Nebenprodukte sind CO_2 und Wasser. Die Herstellung (Abb. 1) [15]–[19] erfolgt in einem Röhrenreaktor mit ca. 5000 mit Katalysator gefüllten Rohren. Immer nur eine Teilmenge des Ethylens und Sauerstoffs wird zum instabilen Ethylenoxid umgesetzt. Das Wertprodukt und die Nebenprodukte werden ausgeschleust und nicht umgesetztes C_2H_4 und O_2 zurückgeführt.

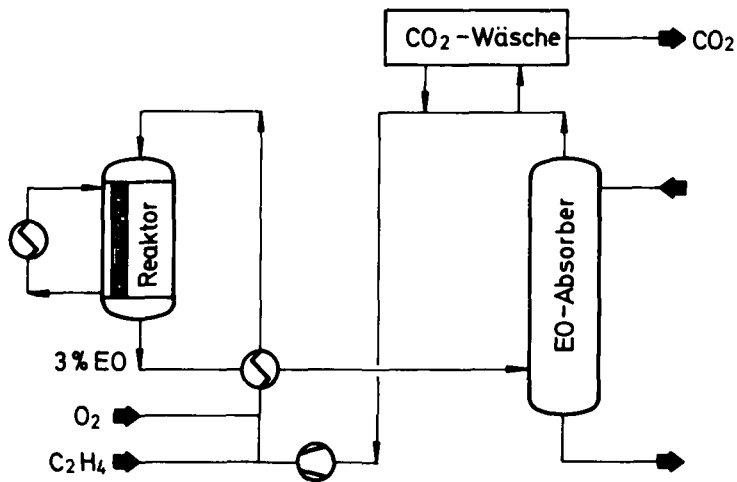


Abbildung 1:
Vereinfachtes Schema einer Ethylenoxid-Anlage

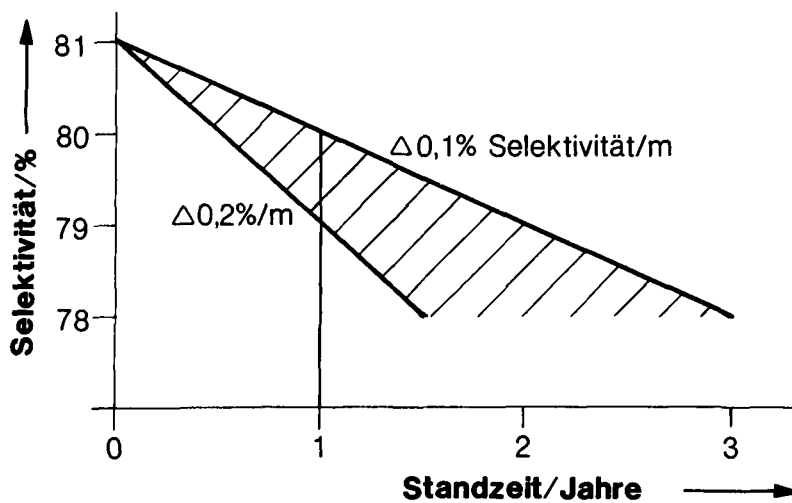


Abbildung 2:
Schematische Darstellung der Desaktivierung eines Ethylenoxid-Katalysators
(s. Text)

Weltweit werden nach diesem Verfahren ca. 8 Mio t/a produziert. Vor dem Hintergrund dieser Mengen gewinnt die Selektivität eine gewichtige Rolle, das Maß für die Menge des Ethylens, die sich zu Ethylenoxid umsetzen läßt.

Unter technischen Bedingungen läßt sich Ethylenoxid mit Selektivitäten um 80% gewinnen. (Da die vom Reaktionsmechanismus vorgegebene maximal erreichbare Selektivität 85,7% sein soll [20]–[21], erzielt man damit schon über 93% des vom Reaktionsmechanismus vorgegebenen Selektivitätswerts).

Ist der Katalysator aber nur gering schlechter, d.h. besitzt er nur eine um 1% schlechtere Selektivität, bedeutet dies wirtschaftlich eine erheblich Einbuße. Für eine Tonne Ethylen, die in Ethylenoxid umgewandelt wird, erlöst man ungefähr DM 1500,–. Wird das Ethylen dagegen zu CO₂ und H₂O verbrannt, erzielt man durch den gewonnenen Dampf nur DM 500,–. Bei den üblichen Anlagengrößen von 150 000 t/a (Tonnen pro Jahr) bedeutet also diese Minderselektivität von 1% eine Mindereinnahme von 1,5 Mio DM/a.

Eine ähnliche wirtschaftliche Bedeutung hat die Standzeit (Abb. 2). Bei allen Katalysatoren beobachtet man einen Abfall der Selektivität mit der Zeit. Fällt die Katalysatorselektivität statt mit 0,1 mit 0,2%/m ab, betragen nach einem Jahr die Mindereinnahmen schon 1 Mio DM.

Für die Katalysatorentwicklung hat dies zwei wichtige Konsequenzen. Selektivitätsunterschiede von 1% sind analytisch nur schwer zu fassen.

Bei einer Ethylenoxidbildung von 3,0 Vol.-% ist die Bildung von 1,32 Vol.-% CO₂ mit einem Selektivitätswert von 82% verbunden. Mit nur 9 Hundertstel höherer CO₂-Menge beträgt die Selektivität nur 81%. Daher muß einmal ein enormer Aufwand in die Analytik gesteckt werden, um diese Genauigkeit zu erreichen, wie z. B. mindestens zwei parallel geschaltete unabhängige Meßsysteme und eine exakte Bilanzierung der C- und O-Atome mit Ausgleichsrechnung. Außerdem hat die Katalysatorforschung das Herstellrezept so abzusichern, daß eine reproduzierbare Herstellung des Katalysators gewährleistet ist. Die Reproduzierbarkeit ist beim EO-Katalysator nicht nur bezüglich der Selektivität, sondern auch bezüglich der Aktivität wichtig.

Ist die Aktivität des Katalysators in einem Rohr nur um 10% (Abb. 3) höher als in den anderen Rohren, beobachtet man in diesem Rohr ein Durchgehen der Reaktion mit der Folge der ausschließlichen Totalverbrennung des Ethylens zu CO₂ und H₂O. Dieses führt zu Reaktorminderausbeuten.

Es bedeutet aber auch eine Gefahr, wenn die Aktivitätsunterschiede nicht so groß sind. Der Grund hängt mit einer Eigentümlichkeit des Ethylenoxidbildungsmechanismus zusammen: Die Selektivität der Ethylenoxidbildung ist umso höher, je höher der Sauerstoffgehalt im Synthesegas ist (Abb. 4).

In technischen Prozessen ist aber der Sauerstoffgehalt begrenzt durch die Flammgrenze, jenseits der man eine Selbstentzündung des Gases beobachtet. Aus wirtschaftlichen Gründen fährt man so nahe – wie aus Sicherheitsüberlegungen vertretbar – an der Flammgrenze. Die Flammgrenze berechnet sich aus den Konzentrationen an Ethylenoxid und Inerten im Reaktorausgangsgas.

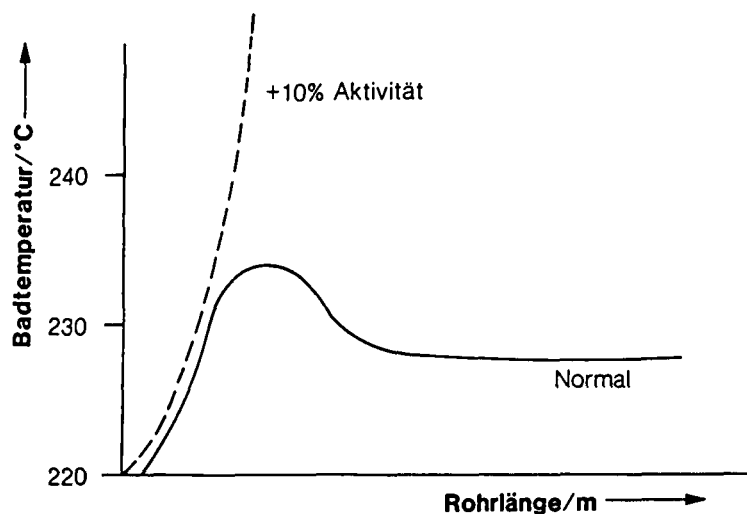


Abbildung 3:

Durchgehen der Reaktion in einem Rohr, das einen Katalysator mit 10% höherer Aktivität enthält, als die übrigen Rohre.

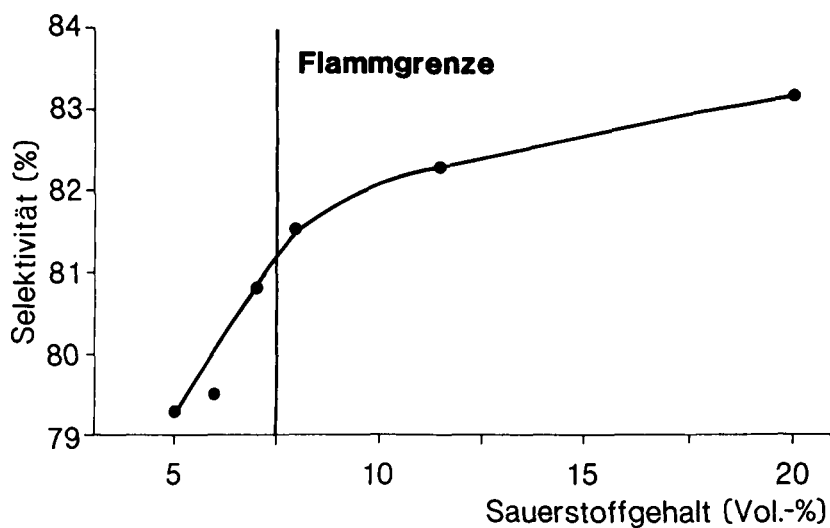


Abbildung 4:

Abhängigkeit der Selektivität der Ethylenoxidbildung aus Ethylen und Sauerstoff in Abhängigkeit vom Sauerstoffgehalt des Eingangsgases (Bedingungen: Eingangsgas: 28% C_2H_4 , 1,5 ppm Vinylchlorid, Sauerstoff (s. Abb.), Rest Stickstoff.

Druck: 1,5 bar, Belastung: 3000 [l Gas/l Katalysator \times h].

Sind zwei Rohre benachbart, wobei das eine mehr Sauerstoff durchläßt, das andere mehr Ethylenoxid produziert, können die Gase in der Verwirbelungszone der beiden Gasströme zünden.

Vor einigen Jahren ist dies öfter aufgetreten und hat zu Notabschaltungen der Anlagen geführt, gelegentlich auch zu Bränden. Hier schaffte die Katalysatorentwicklung Abhilfe, die durch umfassende Katalysatorcharakterisierung die für die Aktivität des Katalysators sensitiven Katalysatorparameter aufspürte und somit eine gleichmäßige Herstellqualität gewährleistet.

2.2. Katalysatoreinsatzgebiet: Technischer Reaktor

Ein Katalysator als Bestandteil eines technischen Reaktors besitzt, um den Druckverlust im Reaktor zu begrenzen, eine bestimmte Form. Eine Auswahl bestimmter Formen zeigt Abb. 5. Jedes Katalysatorpartikel ist wie ein Schwamm aufgebaut, durchzogen von einer Vielzahl miteinander verbundener Kanäle (Abb. 6) [4]. Bei einem Vollkatalysator bestehen die Wände aus der Aktivkomponente. Bei einem Trägerkatalysator sind die Wände aus Trägermaterial aufgebaut, worauf die Aktivkomponente (Abb. 7) warzenförmig sitzt. An der Oberfläche der Aktivkomponente findet die eigentliche katalytische Reaktion statt.

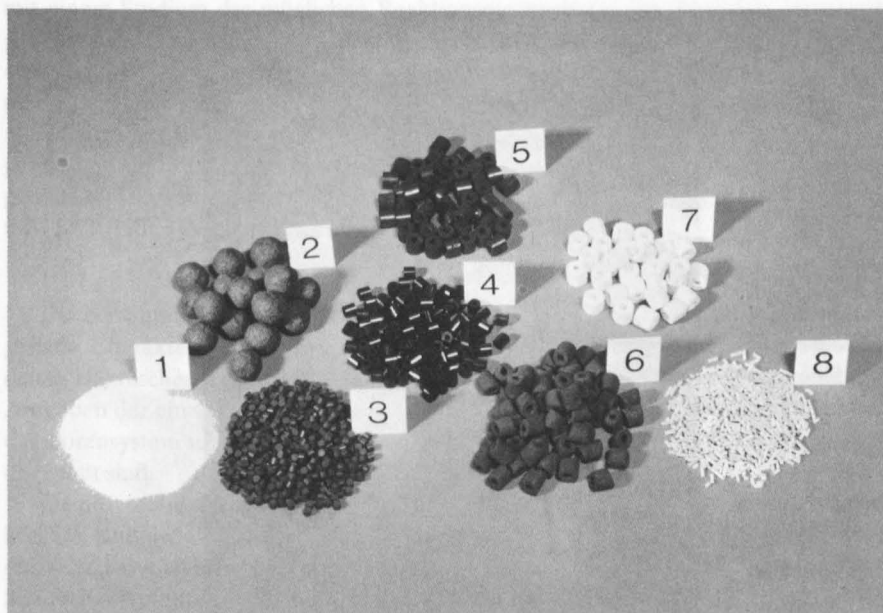


Abbildung 5:

Technische Katalysatoren: 1. Wirbelkatalysator für Adiponitril, 2. NH_3 -Synthesekatalysator, Pelletform, 3. Methanisierungskatalysator, 4. ND-Methanolkatalysator, 5. Styrolkatalysator, 6. Ethylenoxidkatalysator, 7. Clauskatalysator, 8. ZnO -Katalysator.

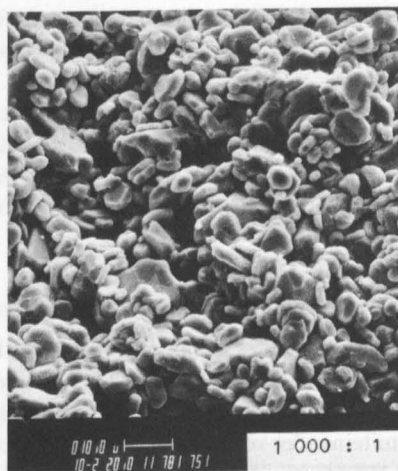


Abbildung 6:
Mikrostruktur eines Ethylenoxid-Katalysators



Abbildung 7:
Elektronenmikroskopisches Bild eines Ethylenoxid-Silberkatalysators

2.3. Katalysatorentwicklung – eine interdisziplinäre Wissenschaft

Mit jeder der oben genannten Stufen beschäftigen sich andere Forschungsbereiche: Die Untersuchung der Elementarschritte der Katalyse ist eine Domäne der akademischen Katalysatorforschung. Mit Hilfe der modernen Oberflächenanalytik läßt sich die Zusammensetzung der Katalysatoroberfläche – des Ortes der katalysierten Reaktion – ermitteln. Die Herstellung des Katalysatorvorläufers erfolgt nach den Regeln der klassischen anorganischen Chemie bzw. der Festkörperchemie. Unter Ausnutzung der Erfahrungen der Feststofftechnologen und Keramiker (z.B. bei der Verformung, Trocknung und Calninerung) wird der technische Katalysator gefertigt. Die Auswirkungen des Porengefüges beschreibt ein Grenzgebiet der physikalischen und technischen Chemie. Die Reaktortechnik paßt den Katalysator in den technischen Prozeß ein. Ist die katalysierte Reaktion eine Umsetzung von organischen Stoffen, gelingt die Optimierung des Katalysators nicht ohne solide Kenntnisse der organischen Chemie.

3. Stufen der Entwicklung eines Katalysators [12], [22]–[26]

3.1. Voruntersuchungen

Die Suche nach einem Katalysator für eine neuartige Reaktion beginnt zunächst mit einem Studium des möglichen Reaktionsmechanismus der Reaktion. Hierdurch gewinnt man Hinweise, ob die Reaktion z.B. durch ein saures, basisches, nucleophiles, elektrophiles oder Elektronentransfer-Zentrum oder durch Kombination verschiedener Zentren katalysiert werden könnte. Ist das Katalysatormuster erkannt, gibt der reiche Erfahrungsschatz, der in fast 100jähriger empirischer Katalysatorentwicklung gesammelt und für die meisten Reaktionstypen in Tabellenform katalogisiert wurde, genügend Hinweise, mit welchem Aktivkomponentensystem man beginnen sollte, z.B. [27]–[28].

3.2. Optimierung von Katalysatoren

Bei der Optimierung eines vorhandenen Katalysatorsystems sollte zusätzlich eine genaue Charakterisierung des Standard-Katalysators mit möglichst vielen verschiedenen chemischen und physikalischen Analysemethoden erfolgen mit dem Ziel, die Aufgaben der einzelnen Katalysatorkomponenten zu entschlüsseln und zu prüfen, ob das Porensystem und die Katalysatorform den Erfordernissen der Reaktion optimal angepaßt sind.

Damit technische Katalysatoren den verschiedenen Forderungen gerecht werden können, sind sie in der Regel aus einer Vielzahl an Komponenten aufgebaut. So besteht der technische NH_3 -Synthese-Katalysator aus mindestens sieben (Fe, K, Al, Ca, Mg, Si, O), der Autoabgas-Katalysator aus neun (Pt, Pd, Rh, Al, Ce, W, Ni, Si, O) und der Acrolein-Katalysator sogar aus bis zu zehn Komponenten (Bi, Mo, W, K, Fe, Ni, Co, P, Si, O).

Die einzelnen Katalysatorkomponenten können die unterschiedlichsten Funktionen besitzen:

3.2.1. Steigerung der Wirksamkeit der Aktivkomponente

In manchen Fällen kann eine Zusatzkomponente die Ausbildung besonders aktiver oder selektiver Aktivkomponentenflächen begünstigen. So soll beim Acrolein-Katalysator die aktivste Phase, das β - Bi_2MoO_6 , sich bevorzugt bei Anwesenheit von Eisenmolybdat ausbilden [29]–[30]. Beim Phthalsäureanhydrid-Katalysator [31] oxidiert die Vanadinoxidfläche, die sich beim epitaktischen Aufwachsen von V_2O_5 auf tafelförmiges Anatas ausbildet, o-Xylol bevorzugt zu Phthalsäureanhydrid. Wie Prof. Ertl zeigte [32], erzielt man beim NH_3 -Synthese-Katalysator durch die Dotierung mit Kalium, daß sich die Aktivität der im reinen Zustand sehr unterschiedlich aktiven Eiseneinkristallflächen aneinander angleichen.

3.2.2. Ausbildung des Porensystems

Auch für die Ausbildung des Porensystems müssen bei der Herstellung des Katalysators oft gezielt Komponenten zugesetzt werden. So dient Aluminium beim NH_3 -Synthese-Katalysator zur Ausbildung einer Vielzahl winziger Eisenkristallite (Abb. 8), wodurch eine große aktive Eisenoberfläche erzielt wird [4]. Calciumoxid lagert sich beim NH_3 -Synthese-Katalysator in die Korngrenzen großer Eisenkristallitbezirke ein [33] und bildet ein Makroporengefüge (Abb. 9).

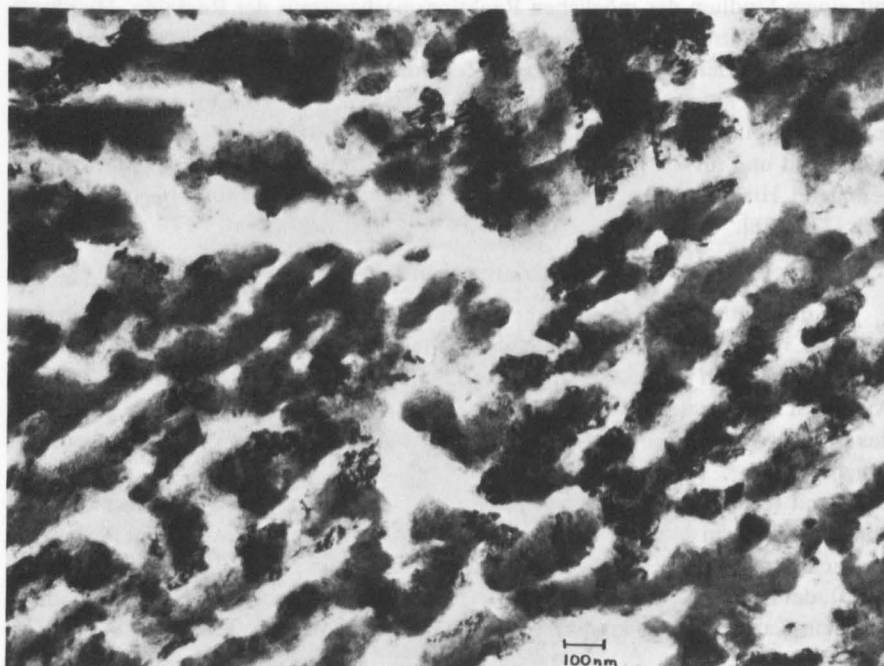


Abbildung 8:
Mikrostruktur des NH_3 -Synthese-Katalysators

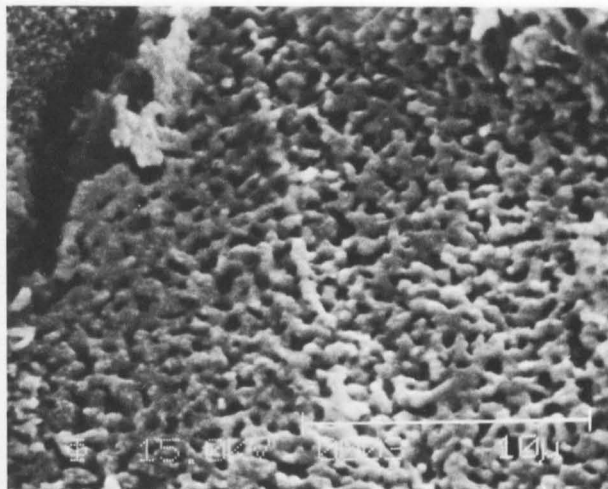


Abbildung 9:
Calciumreiche Bezirke im NH_3 -Synthese-Katalysator

3.2.3. Formgebung [26], [34]–[41]

Selbst bei der Formgebung müssen oft zusätzliche Komponenten zugegeben werden, die wie z. B. Calciumaluminatzemente die mechanische Festigkeit des Katalysatorpartikels gewährleisten oder wie Tone, die eine gute Formgebung erst ermöglichen.

3.2.4. Modifizierung des Katalysators aufgrund der Reaktorgegebenheiten [12]

Bei den meisten selektiven Reaktionen beobachtet man mit zunehmender Größe des Katalysatorpartikels eine abnehmende Selektivität (Abb. 10). So findet im Falle der Acroleinoxidation die Weiterreaktion der Acrylsäure im Porensystem und im „heißen“ Kern der größeren Katalysatorpartikel statt. Optimal sind Partikel mit einem Durchmesser $< 0,5 \text{ mm}$, die aber für den technischen Einsatz ungeeignet sind, weil mit fallender Partikelgröße ein steigender Druck benötigt wird (Abb. 11), um die Reaktionsgase durch den Reaktor zu pressen.

Man trägt daher die aktive Masse als dünne Schicht auf eine große inerte Kugel auf (Abb. 12) und erreicht so trotz geringer Aktivkomponentendimension wegen der großen Kugeln einen geringen Druckverlust. Den unterschiedlichen Anforderungen an den Katalysator bezüglich Aktivität längs der Reaktorachse trägt man Rechnung, indem man am Reaktoreingang, wo die höchste Konzentration an Reaktionskomponenten vorhanden ist, einen dünnchaligen Katalysator einfüllt und am Reaktorende, wo die Restmengen-Propen umgesetzt werden und ein hochaktiver Katalysator benötigt wird, einen dickschaligen Katalysator anordnet.

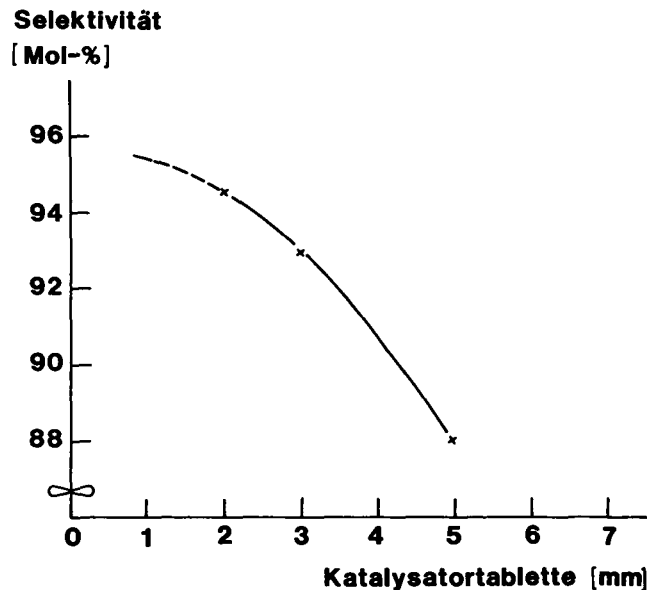


Abbildung 10:
Selektivität der Acrylsäurebildung aus Acrolein
in Abhängigkeit von der Teilchengröße
des Katalysators (Acroleinumsatz: 96 Mol-%).

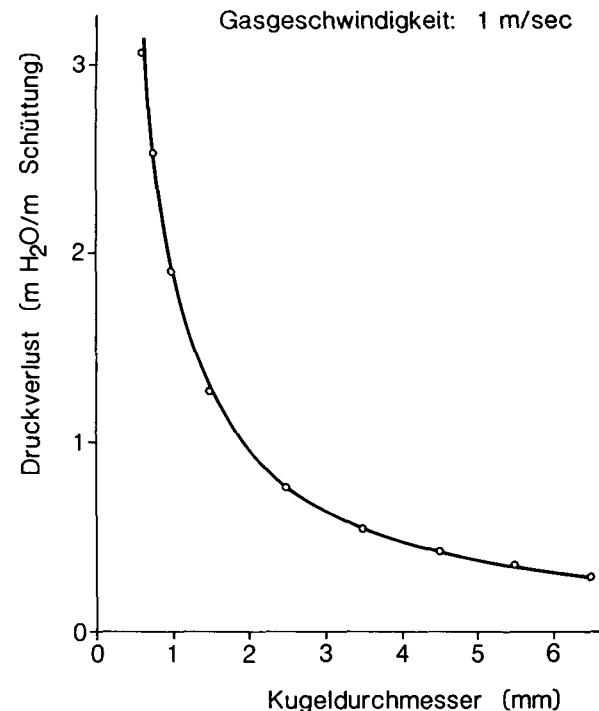


Abbildung 11:
Druckverlust von Kugelschüttungen
in Abhängigkeit vom Kugeldurchmesser

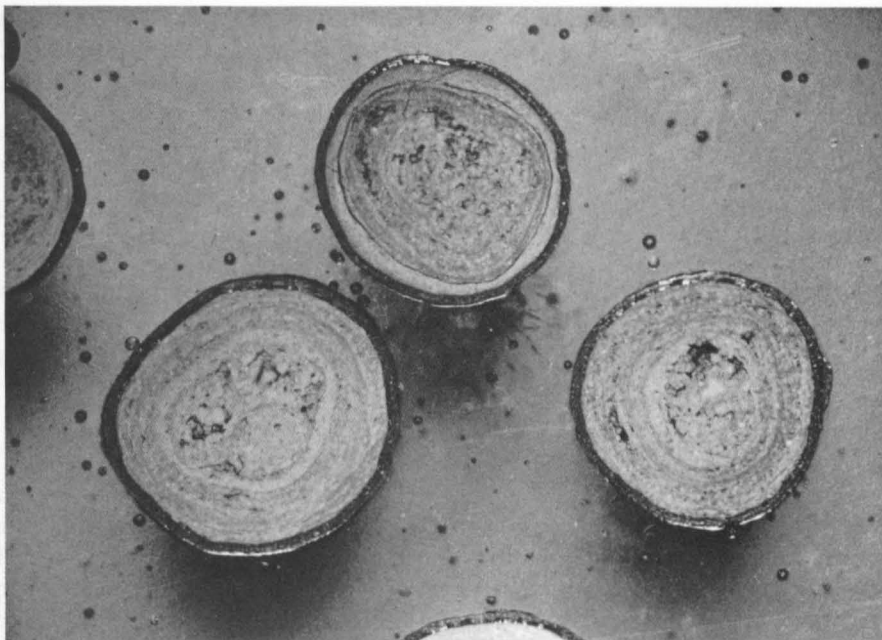
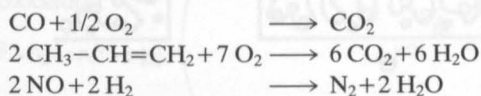


Abbildung 12:
Schalenkatalysator für die Propenoxidation zu Acrolein

3.3. Der multifunktionelle Katalysator

Der Aufbau der Katalysatoren kompliziert sich zusätzlich dadurch, daß fast alle technischen Katalysatoren multifunktional sind, d. h., daß sie mehrere Reaktionen nebeneinander katalysieren müssen. So werden am Autoabgasentgiftungskatalysator die Schadstoffe CO, NO und Kohlenwasserstoffe (wie z. B. unverbrannte Olefine) mit dem im Autoabgas enthaltenen Wasserstoff und Sauerstoff nach z. B. folgenden Gleichungen



zu normalen Bestandteilen der Luft umgesetzt.

3.3.1. Autoabgaskatalysatoren [42]

Die Aktivkomponenten des Autoabgasentgiftungskatalysators (Abb. 13), (Abb. 14) sind Edelmetalle wie Platin oder Palladium. Daneben enthält der Katalysator weitere Komponenten: z. B. verwendet man Aluminiumoxid, das mit einem seltenen Erdoxid, wie z. B. Ceroxid, für die hohen Temperaturen des Autoabgases stabilisiert ist, als Trä-

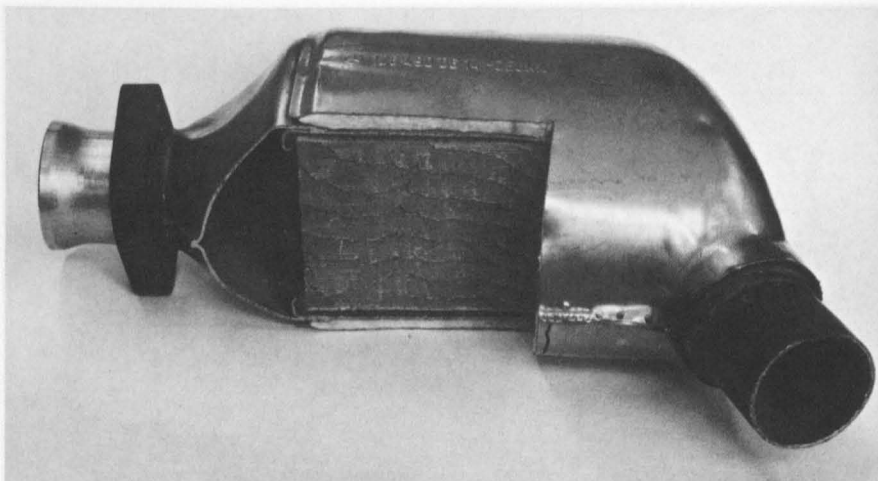


Abbildung 13:
Aufgeschnittener Auspufftopf mit Autoabgaskatalysator

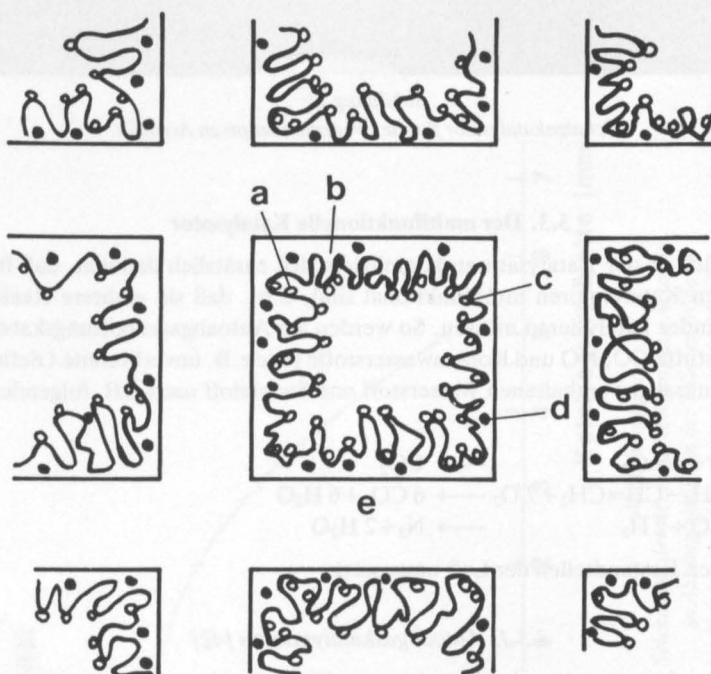
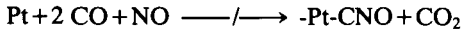


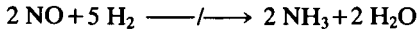
Abbildung 14:
Schematischer Aufbau eines Autoabgaskatalysators: a) Edelmetall, b) Aluminiumoxid, stabilisiert mit einem Seltenen Erdoxid, c) Wolframoxid, d) Schwermetalloxid, wie z. B. NiO, e) Monolithischer Träger.

ger, auf den das Edelmetall fein verteilt wird und so eine höhere Effektivität entfaltet. Damit Platin und Palladium sich durch eine Nebenreaktion



nicht selbst vergiften, wird den Edelmetallen Rhodium zugelegt, das die Vergiftungsreaktion unterdrückt.

Geringe Mengen Wolframoxid verhindern eine Überreduktion des NO zu Ammoniak.



Außerdem sind oft noch Schwermetalloxide mit Redoxeigenschaften zugesetzt, damit bei schwankender Zusammensetzung des Abgases der Oxidationsgrad des Katalysators stabilisiert wird.

3.2.2. Katalysatoren für selektive Oxidation

Nahezu alle Katalysatoren für die selektive Oxidation von Kohlenwasserstoffen sind multifunktionale Katalysatoren [43]–[45]. Für die ablaufenden Reaktionen kann man einen Kreisprozeß formulieren (Abb. 15). So chemisorbiert bei der Oxidation des Propylens zur Endstufe Acrolein zuerst das Propylen am Molybdän. Es folgt ein nucleophiler Angriff eines Wismutsauerstoffs, Deprotonierung und Übertragung eines Elektrons auf ein Wismut unter Bildung eines Allylradikals. Das Allylradikal überträgt ein Elektron auf das Molybdän unter Bildung des Allylkations, das nucleophil angegriffen wird von einem Molybdänsauerstoff unter Bildung einer δ -Allylbindung. Es folgt ein weiterer nucleophiler Angriff eines Molybdänsauerstoffs, Deprotonierung, Übertragung zweier Elektronen auf den Wismutmolybdatkomplex – formal eine Hydrid-

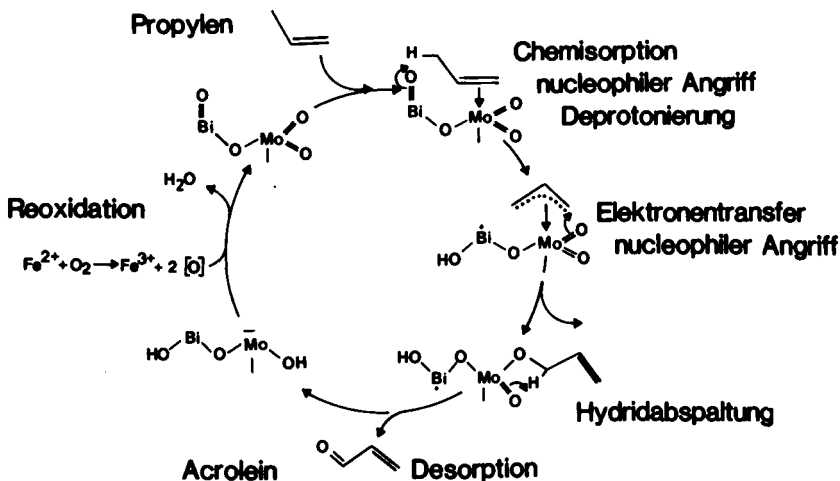


Abbildung 15:

Kreisprozeß bei der Propenoxidation zu Acrolein (nach [45])

absplattung. Es desorbiert Acrolein. Der reduzierte Wismutmolybdatkomplex wird unter Hilfe von Eisen mit molekularem Sauerstoff reoxidiert und unter Wasserabsplattung reaktiviert.

3.4. Screening-Tests

Erst nachdem die Untersuchungen zum Katalysatoraufbau und -aufgabe abgeschlossen sind, beginnt die experimentelle Arbeit. Sie startet zweckmäßig mit der Optimierung der chemischen Zusammensetzung.

Die Tests auf katalytische Wirksamkeit erfolgen mit kleinen Mengen (ca. 10 ml) Splitt (ca. 0,5 mm) in dünnen Röhren (ca. 5 mm), die mit Luft-, Öl-, Salz- oder Metallbäder thermostatisiert sind. Man erreicht dadurch eine weitgehend isotherme Reaktionsführung, die den Einfluß schwer zu kontrollierender Wärme- und Stofftransporteffekte zurückdrängt.

Die Testreaktoren sind mit einem genauen Dosiersystem für die Reaktoreinsatzprodukte, einer ausgefeilten Analytik für den Reaktorausstrag und einem Computer für die Steuerung des Versuchsablaufs und der Datenerfassung ausgestattet. Damit Rohstoffverunreinigungen oder Versuchsanlagen-bedingte Schwankungen nicht die Ergebnisse verfälschen, benutzt man zweckmäßigerweise eine Batterie parallel geschalteter Reaktoren, wobei in einem der Reaktoren ein Standard-Katalysator eingebaut ist.

Innerhalb einer Testserie sollten sich die Versuchskatalysatoren möglichst nur in einem Parameter, z. B. in der Konzentration eines Promotors unterscheiden. Nur so kann man „Ausreißer“ sofort ausscheiden, die wegen der häufigen Schwierigkeiten bei der reproduzierbaren Herstellung von neuartigen anorganischen Feststoffsystemen entstehen.

Immer wieder sollte man überprüfen, ob die Versuchsbedingungen für die verschiedenen Katalysatormodifikationen optimal sind, indem man Reaktorfeedzusammensetzung, Temperatur, Druck usw. variiert.

3.5. Technikumstests

Katalysatoren, die bei diesen Tests positiv herausfallen, werden dann bezüglich der reproduzierbaren Katalysatorherstellung mit Blickwinkel auf ein optimales Porensystem und eine geeignete Katalysatorform weiterentwickelt. Eine Katalysatorcharge in der Größenordnung 5–500 l wird gefertigt.

Unter den späteren Betriebsbedingungen wird in einem Standzeittest und über einen Zeitraum, der bis zu 2 Jahren betragen kann, die Veränderung von Selektivität, Aktivität und mechanischer Festigkeit beobachtet. Kinetische Untersuchungen, z. B. mit einem Kreislaufreaktor werden durchgeführt, um eine technische Anlage auszulegen. Wird ein Rohrbündelreaktor verwendet, so wird der Katalysator in einem Modellrohr eingesetzt, das die gleiche Dimensionierung wie ein Einzelrohr im technischen Reaktor aufweist.

In den verschiedenen Entwicklungsstufen müssen die verschiedensten Experten wie Kinetiker, Feststofftechnologen und Reaktortechniker zu Rate gezogen werden. Der Fortgang der Entwicklung sollte aber in einer Hand verbleiben: Wegen der nur

geringen wissenschaftlichen Fundierung der Katalysatorforschung können nur die genaue Beobachtung und Verarbeitung aller Versuchsergebnisse entscheidende Hinweise für einen optimalen Katalysator geben.

Aufgrund der Versuchsanlagenergebnisse erfolgt eine Kostenanalyse und eine Risikobetrachtung. Ist diese Prüfung erfolgreich bestanden, wird eine Reaktorcharge produziert. Nach dem Einbau in den technischen Reaktor beginnt die Zeit der Bewährung unter technischen Bedingungen. Plötzlich notwendige Abstellungen, Herauf- und Herunterfahren der Belastung gemäß dem Bedarf an Produkten stellen eine nur schwer simulierbare Beanspruchung dar. Erst wenn der Katalysator auch diese Hürde überspringt, ist die Katalysatorentwicklung abgeschlossen.

4. Die dynamische Struktur der Katalysatoren [4]

Oft erlebt man aber bei dieser technischen Prüfung neue Überraschungen. Die Wirksamkeit eines Katalysators ist nämlich nicht nur durch den augenblicklichen Reaktionszustand charakterisiert, sondern auch durch seine Geschichte.

Die Geschichte wird im wesentlichen durch drei Faktoren bestimmt:

1. Die Katalysatorherstellung begründet den Ausgangszustand
2. In der Anfahrphase formiert sich die Struktur des Katalysators (Formierungsphase)
3. Im Laufe seines Lebens unterliegt der Katalysator einigen Umwandlungen, von denen manche irreversibel sind.

Die stärksten Änderungen erfährt ein Katalysator in Formierungsphase, während der sich die Aktivität und Selektivität eines Katalysators entscheidend ändert. Diese Zeit kann von einigen Minuten bis zu mehreren Tagen dauern. Abb. 16 zeigt die Formierung eines Ethylenoxid-Katalysators.

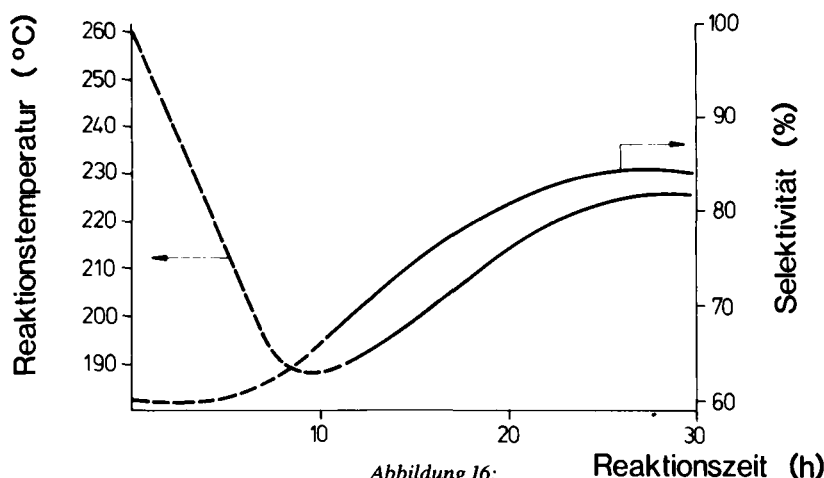


Abbildung 16:
Die Formierung eines Ethylenoxidkatalysators

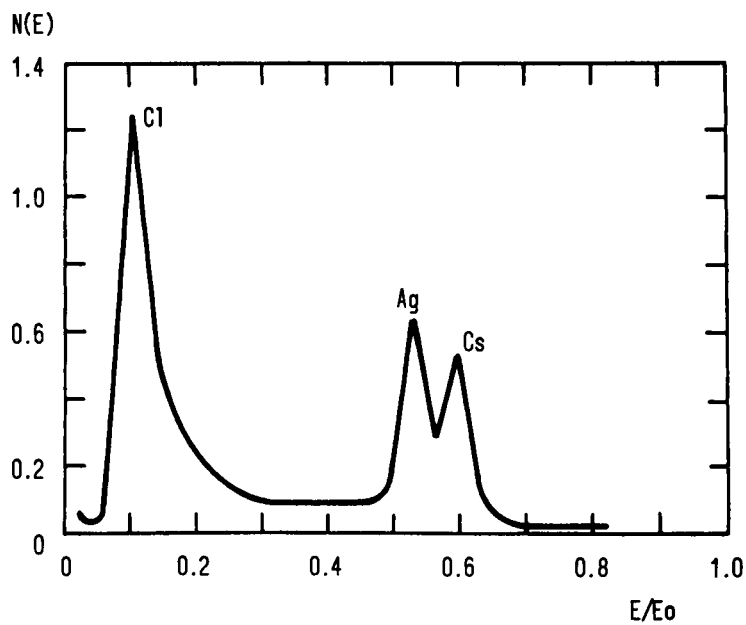
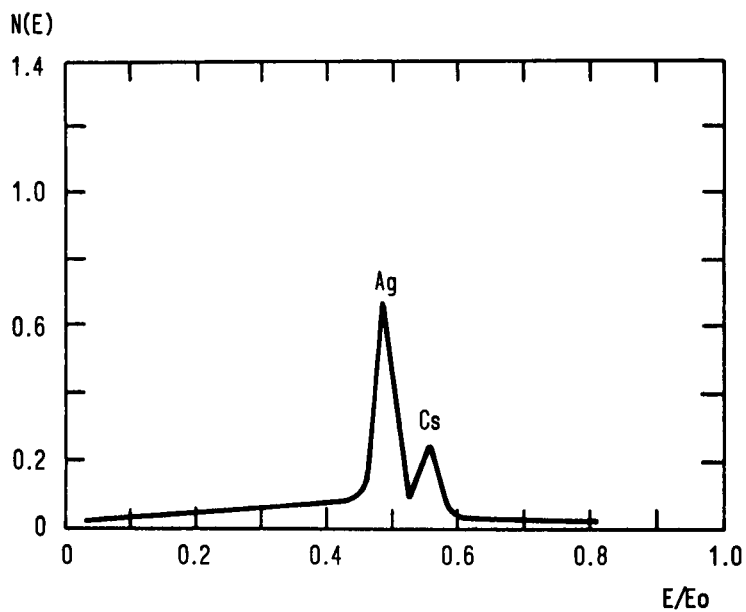


Abbildung 17:
ISS-Spektren eines neuen (a) und formierten (b) Silberkatalysators für die Ethylenoxid-Synthese
(nach [4]).

Zunächst ist der Katalysator wenig aktiv und katalysiert verstärkt die Verbrennung des Ethylens zu CO_2 und Wasser. Mit zunehmender Reaktionszeit durchläuft der Katalysator ein Aktivitätsmaximum, um dann schließlich in ein Niveau konstanter Aktivität einzumünden. Die Selektivität steigt zunächst stetig an und pegelt nach der Stabilisierung der Aktivität auf einen bestimmten Wert ein.

Mehrere Mechanismen der Katalysatorformierung sind denkbar:

1. Ausbildung von Oberflächenverbindungen
2. Oberflächenbedeckungen
3. Umstrukturierungen.

Beispielsweise beim Formierungsprozeß des Ethylenoxid-Katalysators spreitet das Alkali über die Katalysatoroberfläche (Abb. 17) [46], wie man aus dem Vergleich von ISS-Spektren des ungebrauchten und des formierten Silberkatalysators erkennt. Zusätzlich in Cäsium- und Silberpeaks taucht im ISS-Spektrum des gebrauchten Katalysators ein Chlorpeak auf, da in der Formierungsperiode eine geringe Menge einer chlorierten Verbindung zugegeben wird. Der Vergleich der negativen SIMS-Spektren des neuen und formierten Silberkatalysators (Abb. 18) zeigt, daß die Oberfläche des Silbers zunächst (aufgrund der Herstellung aus einem Silberaminkomplex) mit einer Cyanidhaut bedeckt ist, die den Katalysator inaktiviert. Diese wird während der Formierung entfernt und am Ende der Formierung durch eine Chloridhaut ersetzt. Guinier-Aufnahmen des formierten Katalysators beweisen, daß die Veränderung nur an der Oberfläche stattgefunden hat: Die Volumenphase besteht nur aus metallischem Silber.

Beim Silberkatalysator für die Formaldehydherstellung durch (oxidative) Dehydrierung von Methanol verändert der Katalysator völlig seine Struktur. So wandeln sich die zunächst nur wenig aktiven Silberkristallite (Abb. 19) nach der Kontaktierung mit

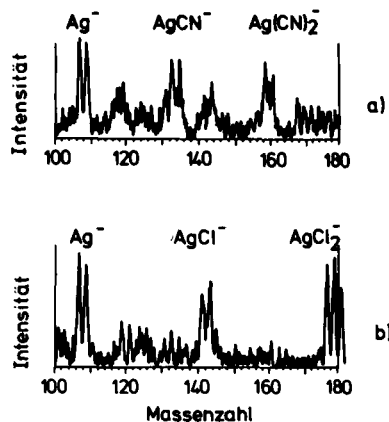


Abbildung 18:

SIMS-Spektren eines neuen (a) und formierten (b) Silberkatalysators für die Ethylenoxid-Synthese (nach [4]).

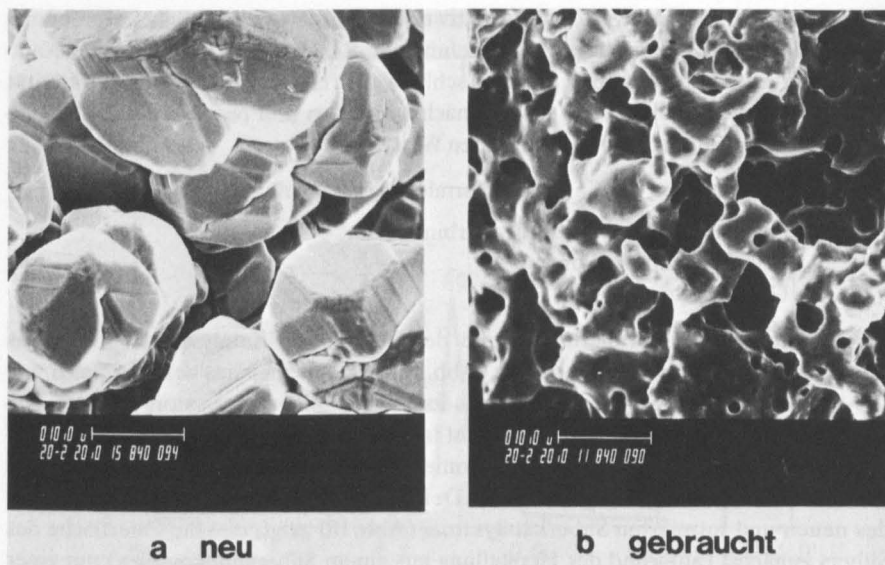


Abbildung 19:

Elektronenmikroskopische Aufnahmen eines neuen (a) und eines formierten (b) Silberkatalysators für die Formaldehyd-Herstellung (nach [4]).

Methanol bei Temperaturen um 650°C innerhalb weniger Stunden in hochaktive grobpore Schwämme um.

Bei diesen Umstrukturierungen verändern sich die Katalysatoren an den verschiedenen Stellen des Reaktors nicht gleichartig: Bei dem alkalidotierten Magnetitkatalysator zur Dehydrierung von Ethylbenzol zu Styrol ist das Alkali unter den Reaktionsbedingungen 600°C bei hohem Wasserdampfpartialdruck ziemlich beweglich. Wasserdampf wird zugesetzt, um eine Verkokung des Katalysators zu verhindern. Da die Ethylbenzol-Dehydrierung eine endotherme Reaktion ist und die Aktivität des Katalysators bei den technisch üblichen Katalysatorstrangdurchmessern durch Diffusion begrenzt wird, sammelt sich das Alkali in der relativ kalten Katalysatorkornmitte. Wegen der Flüchtigkeit des Alkalis wird das Alkali vom Reaktoreingang ausgetragen und zum Reaktorende hin angereichert. Gleichzeitig beobachtet man, daß am Reaktoreingang Kalium hauptsächlich als KOH vorliegt. Zum Reaktorende hin überwiegt wegen des steigenden CO₂-Partialdrucks durch Vergasung des Kokes schwer flüchtiges Kaliumcarbonat.

Zusammenfassung

Die chamäleonartige Struktur eines Katalysators, die starke Abhängigkeit des Katalysatoraufbaus von den Reaktionszuständen und der Vorgeschichte erschweren ebenso wie die scharfen Anforderungen bezüglich Aktivität, Selektivität und Standzeit

eine Optimierung eines technischen Katalysators. Das bisher geübte mehr oder weniger empirische Vorgehen stößt immer mehr auf Grenzen: Das Verständnis für die Vorgänge an der Katalysatoroberfläche konnte erst in den letzten Jahren vertieft werden. Für die Aufarbeitung des gesamten empirischen Materials werden noch Jahre wissenschaftlicher Arbeit von Oberflächenphysikern, Festkörperchemikern, technischen Chemikern, Feststofftechnologien und Reaktortechnikern nötig sein. Mehr und mehr werden die hierbei gewonnenen Erkenntnisse der Katalysatorentwicklung neue Impulse verleihen.

Literatur

- [1] B. Timm: Proc. 8th Int. Congress on Catalysis Berlin 1984, Verlag Chemie, Weinheim 1984, Vol. I, S. 7.
- [2] G.A. Somorjai, in: ibd., Vol. I, S. 113.
- [3] D.L. Trimm: „Design of Industrial Catalysts“, Elsevier Amsterdam, 1980.
- [4] W.D. Mroß: Ber. Bunsenges. Phys. Chem. **88**, 1042 (1984).
- [5] Th.H. Maugh: Science 219, 474 (1983).
- [6] R.J. Koestner, M.A. Van Hove, G.A. Somorjai: CHEMTECH, 376 (1983).
- [7] G.A. Somorjai, S.M. Davis: CHEMTECH, 502 (1983).
- [8] G. Ertl: Proc. 7th Int. Congress on Catalysis Tokyo 1980, Elsevier Amsterdam 1981, S. 21.
- [9] G. Ertl: Pure & Appl. Chem. 52, 2051 (1980).
- [10] G. Ertl: Catal. Rev.-Sci. Eng. 21, 201 (1980).
- [11] R. Krabetz und W.D. Mroß: „Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie“, 4. Auflage, Bd. 13, S. 517, Verlag Chemie, Weinheim 1977.
- [12] C.N. Satterfield: „Heterogeneous Catalysis in Practice“, McGraw-Hill Book Company, New York 1980.
- [13] St.C. Stinson: C & EN, Dec. 5, 19 (1983).
- [14] K.-H. Schmidt: Chem. Ind., XXXVI, 380, 572, 716 (1984).
- [15] B.J. Ozero, J.V. Procelli: Hydrocarbon Processing, March 1984, 55.
- [16] J.M. Berty, in: „Applied Industrial Catalysis“, Vol. 1, Academic Press, New York 1983, S. 207.
- [17] J.V. Procelli: Catal. Rev.-Sci. Eng. 23, 151 (1981).
- [18] X.E. Verykios, F.P. Stein, R.W. Coughlin: Catal. Rev.-Sci. Eng. 22, 197 (1980).
- [19] J.C. Zomerdijk, M.W. Hall: Catal. Rev.-Sci. Eng. 23, 163 (1981).
- [20] P.A. Kilty, W.M.H. Sachtler: Catal. Rev.-Sci. Eng. 10, 1 (1974).
- [21] H.H. Voge, C.R. Adams: Adv. Catal. 17, 151 (1967).
- [22] E.G. Christoffel: Catal. Rev.-Sci. Eng. 24, 159 (1982).
- [23] E.E. Petersen, in: „Experimental Methods in Catalytic Research“, Hrg. R.B. Anderson, P.T. Dawson Academic Press, New York 1976, Bd. II, S. 257.
- [24] J.M. Berty, in: „Applied Industrial Catalysis“, Hrg. B.E. Leach, Academic Press, New York 1983, Bd. 1, S. 41.
- [25] M.O. Tarhan: „Catalytic Reactor Design“, McGraw-Hill Book Company, New York 1983.
- [26] A.B. Stiles: „Catalyst Manufacture, Laboratory and Commercial Preparations“, Marcel Dekker New York, 1983.
- [27] „Catalysis“, Hrg. P.H. Emmett, Reinhold, New York, Vol. 1 (1954), Vol. 2, 3 (1955), Vol. 4 (1956), Vol. 5 (1957), Vol. 6 (1958), Vol. 7 (1960).
- [28] Handbuch der Katalyse, Hrg. G.-M. Schwab, Springer Verlag, Berlin, Bd. 1–4, 6–7 (1940–1943), Bd. 5 (1957).
- [29] M.W.J. Wolfs, Ph.A. Batist: J. Catal. 32, 25 (1974).

- [30] I. Matsuura, M. W.J. Wolfs: J. Catal. 37, 174 (1975).
- [31] I.E. Wachs, S.S. Chan, C.C. Chersich, R. Y. Saleh: Stud. Surf. Sci. Catal. 19, 275 (1984).
- [32] S.B. Lee, M. Weiss, G. Ertl: Surf. Sci. 108, 357 (1981).
- [33] M. Weiss, G. Ertl: „Metal-Support and Metall-Additive Effects in Catalysis“, Hrg. B. Imelik et al., Elsevier Amsterdam 1982, S. 227.
- [34] Ph. Courty, P. Dohaut: Rev. Inst. Franc. du Petrole 29, 861 (1974).
- [35] R. Friedrich: Chemie-Technik 5, 495 (1976).
- [36] H. Rumpf: Chem.-Ing.-Tech. 46, 1 (1974).
- [37] K. Becker: Chem.-Tech. (DDR) 29, 141 (1977).
- [38] R. Schilp: Chem.-Ing.-Tech. 49, 374 (1977).
- [39] H. Schubert: Chem.-Ing.-Tech. 51, 266 (1979).
- [40] R. Polke, W. Herrmann, K. Sommer: Chem.-Ing.-Tech. 51, 283 (1979).
- [41] K. Sommer: Chem.-Ing.-Tech. 51, 996 (1979).
- [42] E. Koberstein: Chemie in unserer Zeit 18, 37 (1984).
- [43] G.C.A. Schuit, B.C. Gates: CHEMTECH 1983, 556, 693.
- [44] R.K. Grasselli, J.F. Brazdil, J.D. Burrington: Proc. 8th Int. Congr. Catal. Berlin 1984, Verlag Chemie, Weinheim 1984, Bd. V, S. 369.
- [45] J.D. Burrington, C.T. Kartisek, R.K. Grasselli: J. Catal. 87, 363 (1984).
- [46] W.D. Mroß: Catal. Rev.-Sci. Eng. 25, 591 (1983).

Außerdem fanden im Rahmen des wissenschaftlichen Symposions der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte zwei öffentliche Vorträge statt, nämlich am 9.10.1985 von Prof. Dr. H. Buchthal, London, über

„Byzantinische Malerei im 12. Jahrhundert – Tradition und Neuerung“

sowie am 10.10.1985 von Prof. Dr. R. Hausscherr, Berlin, über

„Das Helmarshausener Evangeliar Heinrichs des Löwen – Probleme und Stand der Forschung“

Feierliche Jahresversammlung 1985

– Begrüßung und Bericht des Präsidenten der BWG –

Hochansehnliche Festversammlung!

Namens der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft habe ich die Ehre, Sie auf unserer diesjährigen Feierlichen Jahresversammlung auf das herzlichste zu begrüßen und Ihnen für Ihre Teilnahme zu danken. An erster Stelle darf ich als Vertreter der Legislative Herrn Gautier, MdE, und Herrn Herbst, MdL, sowie als Vertreter des Rates der Stadt Herrn Dipl.-Ing. Kohl begrüßen.

Mein herzlicher Gruß gilt sodann den Vertretern der Exekutive, an ihrer Spitze zu unserer besonderen Freude Herrn Regierungspräsident Niemann und als Vertreter der Stadtverwaltung Herrn Stadtrat Wenzel. Herzlichst begrüßt seien aber auch die Vertreter der in Braunschweig ansässigen Bundes-, Landes- und städtischen Behörden, und wie in jedem Jahre nutze ich gern die Gelegenheit, Ihnen allen für die wohlwollende Unterstützung unserer Gesellschaft, die in den kommenden Jahren und unter freundlicheren ökonomischen Aspekten – so möchten wir hoffen – noch erheblich verstärkt werden möge.

Besonders begrüße ich einen alten Freund und Förderer unserer Gesellschaft, den ehemaligen Niedersächsischen Minister des Innern, Ehrenbürger unserer Stadt und Ehrensator der Carolo Wilhelmina, Herrn Otto Bennemann, und begrüße schließlich besonders den Landesbischof von Hannover und Vorsitzenden der EKD, Herrn Prof. Dr. Lohse.

Des weiteren darf ich summarisch die Vertreter der Kirchen, der Justiz, des Bundesgrenzschutzes und der Polizei, der politischen Parteien und Gewerkschaften, der Standesverbände, der Industrie, des Handwerks und des Handels sowie der Massenmedien begrüßen.

Natürlich gilt unser ganz besonderer Gruß den zahlreich anwesenden Vertretern der Wissenschaft. Und hier ist es mir eine ganz besondere Freude, zum ersten Male bei uns als Vertreter der ältesten deutschen Akademie, den Präsidenten der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina zu Halle, Herrn Prof. Dr. Bethge, ganz herzlich zu begrüßen. Wir möchten hoffen, daß Sie aus kollegialen Gesprächen des heutigen Tages unsere Gesellschaft ein wenig besser kennenlernen und vielleicht – zur Vertiefung der bereits bestehenden Kontakte – auch manche Anregung für Ihre wissenschaftliche Arbeit empfangen mögen.

Und auch den Präsidenten der ältesten Akademie auf dem Boden der Bundesrepublik, der Göttinger Akademie der Wissenschaften, Herrn Prof. Dr. Fleckenstein, begrüße ich auf das herzlichste, verbinden uns mit ihm und seiner Akademie doch manche gemeinsamen Interessen, bei deren Behandlung wir ihn als gutnachbarlichen Freund kennen und schätzen lernen durften. Und gleichermaßen begrüße ich den eben-

falls zum ersten Male bei uns weilenden Präsidenten der Joachim-Jungius-Gesellschaft, Herrn Prof. Dr. Baur.

Mein Gruß gilt sodann dem Präsidenten der Technischen Universität Carolo Wilhelmina, Herrn Prof. Dr. Rebe, dem ich für mancherlei Amtshilfe zu danken habe, dem Präsidenten der Göttinger Georg-August-Universität, Herrn Prof. Dr. Kamp, dem Rektor der Technischen Universität Clausthal, Herrn Prof. Dr. Leschonski, und dem Rektor der Hochschule für Bildende Künste, Herrn Prof. Welzel.

Ich begrüße weiter den Präsidenten der FAL, Herrn Prof. Dr. Neander, und den Generalsekretär der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Herrn Dr. Haubner.

Im engsten Zusammenhang mit diesen hochrangigen wissenschaftlichen Institutionen möchte ich – eingebettet in sie – mit Dank für die uns gewährte Unterstützung zur Durchführung wissenschaftlicher Symposien – den Generalsekretär der Stiftung VW, Herrn Staatssekretär a. D. Dr. Möller, herzlich begrüßen.

Aber „last not least“ gilt mein Gruß auch den zahlreich erschienenen Kollegen der verschiedensten Fachgebiete, den Mitgliedern der BWG, und den Inhabern der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille früherer Jahre, Prof. Dr. Kneser und Prof. Dr. Beneking, sowie unseren auswärtigen Gästen, den Herren Professoren Dr. Ertl und Dr. Simon, München, und Dr. Mross, Ludwigshafen. Sie alle seien uns herzlich willkommen.

Meine sehr verehrten Damen und Herren!

Der nachfolgende Bericht bezieht sich auf den Zeitraum von der letzten Feierlichen Jahresversammlung, also vom 11. Mai 1984 bis zum heutigen Tage. Während dieser Zeit hatte unsere Gesellschaft zwei Todesfälle zu beklagen. Es verstarben

am 4. September 1984 in seinem 65. Lebensjahr **Prof. Dr. rer. nat. Günter Rehage**, ordentliches Mitglied der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft in der Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik seit 1982. Zuletzt als Direktor des Physikalisch-Chemischen Instituts an der Technischen Universität Clausthal hat der Verstorbene in seinen speziellen Forschungsgebieten der hochmolekularen Stoffe und der Thermodynamik hochpolymerer Systeme bedeutende Ergebnisse erzielt. Nahezu 100 Veröffentlichungen kennzeichnen sein Lebenswerk, das unter anderem durch die Verleihung des Wolfgang-Ostwald-Preises und der Carl-Dietrich-Harries-Medaille besonders gewürdigt worden ist.

Am 18. September 1984 verstarb in seinem 88. Lebensjahr **Prof. Dr. phil. Günther Cario**, Gründungsmitglied der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft in der Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik. Er stand unserer Gesellschaft, deren Tätigkeit er bis in sein hohes Alter durch aktive Teilnahme an deren Veranstaltungen und zahlreiche Beiträge der verschiedensten Art wesentlich förderte, besonders nahe. Als Nestor der Physik an der Technischen Hochschule Braunschweig war er der Begründer aller noch heute an dieser bestehenden Physikalischen Institute. Als **Schüler des Nobelpreisträgers James Fanck** hat er mit seinen Forschungsarbeiten über die Atomhülle, über Lichterscheinungen in der oberen Atmosphäre sowie über Ele-

mentarprozesse in aktiven Gasen wesentlich zur Erweiterung der einschlägigen Erkenntnisse beigetragen und als Hochschullehrer ganze Generationen von Schülern mit seinem Fachgebiet vertraut gemacht.

Sie haben sich zu Ehren der Verstorbenen von Ihren Sitzen erhoben, ich danke Ihnen.

Zu ordentlichen Mitgliedern wurden am 14. Dezember 1984 und am 15. März 1985 gewählt:

In die Klasse für Ingenieurwissenschaften

Prof. Dr.-Ing. **Matthias Bohnet**, Direktor des Instituts für Verfahrenstechnik an der Technischen Universität Braunschweig,

Prof. Dr.-Ing. **Hans Kurt Tönshoff**, Direktor des Instituts für Fertigungstechnik und spanende Werkzeugmaschinen an der Universität Hannover,

Prof. Dr.-Ing. **Christian v. Zabeltitz**, Leiter des Instituts für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft an der Universität Hannover, und

Prof. Dr.-Ing. **Karlheinz Bretthauer**, Leiter des Instituts für Elektrische Energietechnik an der Technischen Universität Clausthal.

In die Klasse für Bauwissenschaften

Prof. Dr.-Ing. **Hans Günther Nathke**, Direktor des Curt-Risch-Institutes für Dynamik, Schall- und Meßtechnik an der Universität Hannover,

Prof. Dr.-Ing. **Ferdinand Stracke**, Direktor des Instituts für Städtebau, Wohnungswesen und Landesplanung an der Technischen Universität Braunschweig, sowie

Prof. Dr.-Ing. **Günter Weimann**, Direktor des Instituts für Photogrammetrie und Kartographie an der Technischen Universität Braunschweig.

In die Klasse für Geisteswissenschaften

Prof. Dr. jur. **Werner Thieme**, Geschäftsführender Leiter des Seminars für Verwaltungslehre an der Universität Hamburg.

Zu korrespondierenden Mitgliedern wurden die Herren

Prof. Dr.-Ing. Heinz Beneking, Aachen,

Prof. Dr. phil. Konrad Gaiser, Tübingen,

Prof. Dr. phil. Bezalel Narkiss, Jerusalem, und

Prof. Dr. phil. Helmut Beumann, Marburg, gewählt.

Damit verfügt die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft gegenwärtig über **126 ordentliche Mitglieder**, von denen die 41 über 70jährigen auf die durch die Satzung festgelegte Höchstzahl von 110 ordentlichen Mitgliedern nicht anrechnen. Die Anzahl der korrespondierenden Mitglieder beträgt zur Zeit **61**.

Das Plenum der Gesellschaft trat während der Berichtszeit zu **8 wissenschaftlichen Sitzungen** zusammen, in denen über Ergebnisse in der kombinatorischen Zahlentheorie, über Kryptographie, über natürliche und anthropogene Erosion, über Magnetismus in der Elektrotechnik, über aeroelastische Schwingungen, über Technologie-

transfer, über die Geschichte des Kranzes von Villen und Gärten um Braunschweig und über das Kunstreich Bischof Bernwards von Hildesheim berichtet und diskutiert wurde.

In **13 Klassensitzungen** wurden unter anderen folgende Themen behandelt: Plazentarer Gasaustausch, Sind Naturstoffe bessere Heilstoffe?, die Aromatenchemie auf dem Wege in die dritte Dimension, Junger Beton, Das Vernunftinteresse der Sprache, sowie Pindar und Seneca.

Eine besondere Hervorhebung verdient wiederum unsere **Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte**. Sie führte unter der Schirmherrschaft S.E. des Hochw. Bischofs von Hildesheim, Dr. Homeyer, ein auch von ausländischen Fachgelehrten gut besuchtes wissenschaftliches Symposium zum Thema „**Bernwardinische Kunst**“ durch, dessen Ergebnisse demnächst veröffentlicht werden sollen. Für den Herbst dieses Jahres ist ein weiteres wissenschaftliches Symposium unter der Schirmherrschaft des Herrn Niedersächsischen Ministers für Wissenschaft und Kunst, **Dr. Casens**, über das Evangeliar Heinrichs des Löwen vorgesehen.

Die Gesellschaft trat ferner mit 3 Veranstaltungen an die Öffentlichkeit, und zwar im Herbst des vergangenen Jahres mit einem Vortrag ihres ordentlichen Mitgliedes und Vorsitzenden der Klasse für Geisteswissenschaften wie auch der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte, **Prof. Dr. Martin Gosebruch**, in Hildesheim zum Thema „Bischof Bernward, Allen war er Alles“ sowie am heutigen Vormittag mit Vorträgen von **Prof. Dr. Simon**, München, zum Thema „Einiges über Biokatalyse und Möglichkeiten ihrer Anwendung“ und von **Dr. Mross**, Ludwigshafen, über „Entwicklung technischer Katalysatoren“.

Außerdem fanden die vorgeschriebene Hauptsitzung und 2 Wahlsitzungen des Plenums, eine Sitzung des Konzils und 2 Sitzungen des Verwaltungsausschusses zur Erledigung der satzungsmäßigen Auflagen statt.

Veröffentlicht wurden in der Berichtszeit die **Jahrbücher 1983 und 1984** sowie „**Der Braunschweiger Burglöwe**“ als Band 2 der Schriftenreihe der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte. Im Ausdruck befinden sich zur Zeit die „**Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, Band 36 (1984)**“, der in den nächsten Monaten erscheinen wird.

Meine sehr verehrten Damen und Herren!

In einer anscheinend zunehmend technikfeindlichen Welt mag es beinahe schon zur Pflichtübung werden, daß der Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft zunächst dafür um Verständnis bittet, daß gerade seine Gesellschaft mit ihren Klassen für Ingenieurwissenschaften und Bauwissenschaften deutliche technisch-wissenschaftliche Schwerpunkte aufweist und daß sie darüber hinaus mit ihrer Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik Disziplinen pflegt, deren Ergebnisse großenteils in technisches Handeln münden. Freilich bleibt ihm die Möglichkeit, immer wieder darauf hinzuweisen, daß es in allererster Linie der technischen Entwicklung der letzten 200 Jahre zu verdanken ist, daß in den Industrieländern heute wesentlich mehr Menschen, wesentlich besser und wesentlich länger leben als vor dieser Zeit, die von

manchen Schwärmern immer noch als eine Art „goldenes“ Zeitalter, nostalgisch verklärt, wird. Sie wissen offenbar nicht, daß jene Zeit eine außerordentlich harte Zeit war mit Hunger, Seuchen und Krankheiten aller Art, in der die Vitalsituation der Bevölkerung von Mühsal bestimmt war und in der die Gesetze der Natur noch eine recht weitgehende Geltung beanspruchten, so daß Humanität und soziale Verantwortung für große Bevölkerungsteile allenfalls ferne, unerreichbar erscheinende Traumbilder blieben. Aber natürlich wird er die in mancherlei Schäden zum Ausdruck kommenden negativen Folgen der Technik nicht leugnen wollen, schließlich aber doch darauf hinweisen dürfen, daß mit dem besseren Verständnis naturwissenschaftlich-technischer Prozesse, durch neue wissenschaftliche Erkenntnisse und durch einen überlegteren Einsatz der Technik etwaige Folgemängel dieser Technik vermieden, beseitigt oder doch erheblich gemildert werden können.

Sie, meine sehr verehrten Damen und Herren, befinden sich hier und heute als Bewohner oder Gäste in einem Lande, das natürlich ebenfalls der Technik und technischer Innovationen vielleicht sogar in besonderem Maße bedarf, um seiner Bevölkerung die Chancen eines menschenwürdigen und sorgenfreien Daseins zu bieten. Unser erst nach dem zweiten Weltkrieg entstandenes **Bundesland Niedersachsen** weist nämlich gegenwärtig nur noch Reste seiner ehemals reichen natürlichen Ressourcen und der Gunst bevorzugter Verkehrslage auf, lokale und regionale Elemente, die ja seit eh und je die Quellen technisch-industrieller und wirtschaftlicher Aktivitäten waren und sind. Das gilt sowohl hinsichtlich der in diesem Raum vorhandenen **natürlichen Energiequellen**, als auch im Hinblick auf **nutzbare Lagerstätten** und **Rohstoffvorkommen** aller Art, und die **ehemals günstige Verkehrslage** als Bindeglied zwischen Nord und Süd und Ost und West hat sich durch eine neue, immer noch **wenig durchlässige Grenze** im Osten des Landes sowie durch die **Verlagerung großer internationaler Verkehrsströme** merklich verschlechtert.

Immerhin verfügt das Land trotz mancher Abwanderung von Industriebetrieben oder von Teilen solcher immer noch über **große Industriekomplexe** sowie an der Küste über **ansehnliche Häfen**, darunter über den einzigen **Tiefwasserhafen** der Bundesrepublik. Und schließlich ist das Land der Sitz zahlreicher **wissenschaftlicher Einrichtungen** der verschiedensten Art, deren Tätigkeit für eine gedeihliche Entwicklung des Landes – zumindest auf längere Sicht – zweifellos von erheblicher Bedeutung ist.

Die Wissenschaft erfüllt durch **Lehre und Forschung** eine doppelte Funktion. Durch die Ausbildung von Teilen der nachwachsenden Generationen setzt sie diese in den Stand, höher qualifizierte Aufgaben öffentlicher oder privater Natur zu erfüllen und dabei vor allem die Weitergabe von allgemeinen und fachlich speziellem Wissen durch die **Ausbildung entsprechender Lehrkräfte** einzuleiten. Diese letztgenannte Aufgabe wird im Interesse wirtschaftlicher Fortentwicklung immer wichtiger, denn während wir noch vor wenigen Jahrzehnten im allgemeinen nur zwischen rohstoffintensiven, energieintensiven und arbeitsintensiven Industrien oder Mischungen daraus zu unterscheiden pflegten, muß nunmehr zunehmend eine **neue Industriekategorie**, nämlich eine „**intelligenzintensive**“ ins Auge gefaßt und durch entsprechend ausgebildetes Personal bedient werden. In Niedersachsen wird diese Aufgabe durch **10 Universitäten, 8 Fach-**

hochschulen und 2 Kunsthochschulen mit zur Zeit insgesamt **120.000 Studierenden** wahrgenommen.

Die Forschung dagegen, die von Hochschulen und hochschulfreien wissenschaftlichen Einrichtungen betrieben wird, hat unter Einsatz immer neuer, meist umfangreicher und kostspieliger Mittel unser Wissen fortlaufend auf dessen Richtigkeit hin zu überprüfen und gegebenenfalls zu korrigieren, vor allem aber in **wissenschaftliches Neuland vorzustößen**. Das Ziel ist in beiden Fällen die Gewinnung gesicherter wissenschaftlicher Erkenntnisse für deren Anwendung bei der Verbesserung und Fortentwicklung des Bestehenden oder auch für ganz neue Erfindungen. Bis zur Einsatzreife und wirtschaftlichen Nutzung können die wissenschaftlichen Institutionen die von ihnen erarbeiteten Erkenntnisse sehr häufig nicht entwickeln, dazu bedarf es gerade in den technischen Bereichen im allgemeinen der **Mitwirkung einschlägiger Industrien** oder überhaupt die Übernahme der jeweiligen Projekte durch diese, wobei die Wissenschaft auch dadurch wieder neue Erkenntnisse gewinnt und über die Lehre weitergeben kann.

Diese Weitergabe kann unter Umgehung der Lehre auch unmittelbar an Betriebe erfolgen, was heute unter dem Begriff „**Technologietransfer**“ verstanden und praktiziert wird. Es bestehen auch schon von wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Institutionen gemeinsam getragene Einrichtungen zur Förderung dieses Technologietransfers, was fallweise auch bereits zu erfreulichen Resultaten geführt hat, und natürlich sollte der in diesem Rahmen von der Wissenschaft zur Wirtschaft fließende Informationsstrom weiter ausgebaut und gezielt verdichtet werden.

Es ist indessen nicht zu übersehen, daß dieser Informationsstrom kleine und kleinste Wirtschaftsbetriebe aus mancherlei Gründen gar nicht oder nur sehr schwer erreicht. Das ist umso mehr zu bedauern, als gerade den **kleinen Betrieben** in Zukunft aller Wahrscheinlichkeit nach eine größere Bedeutung zukommen wird als bisher. In einer so reifen Volkswirtschaft wie derjenigen der Bundesrepublik geraten viele der ehemals die Wirtschaft tragenden **monostrukturierten Großindustrien** wegen mangelnder Konkurrenzfähigkeit im Weltmarkt in immer größere Schwierigkeiten, sie können nur mit Hilfe **breitester Diversifikation** erfolgreich fortbestehen. Vom Markt gefragt sind heute zunehmend **produktionstechnisches Know How** und **hochentwickelte Spezialitäten**, wie solche vorzugsweise von kleinen und mittleren Betrieben produziert und angeboten werden können. Für die Entwicklung der niedersächsischen Wirtschaft kommt es nicht zuletzt also auch darauf an, **das produzierende Handwerk** sowie die **kleinen und mittleren Industriebetriebe** nach Kräften zu fördern und mit ihrer Hilfe über neue, qualifizierte Arbeitsplätze wieder allgemeinen Wohlstand zu entwickeln.

Wesentlich für den Erfolg entsprechender Entwicklungsmaßnahmen öffentlicher oder privater Natur ist nicht zuletzt eine sinnvolle Gestaltung des **zivilisatorischen und kulturellen Umfeldes**, das jene stützen oder überhaupt erst einmal ermöglichen muß. Das ist schon hinsichtlich der Lokalisierung von Wohn- und Arbeitsplätzen zu beachten, wobei man das Augenmerk nicht mehr vorzugsweise auf den Ausbau großer Städte richten sollte, sondern mehr als bisher auf die zahlreichen kleinen Städte des Landes, die von der Bevölkerung neuerdings wieder stärker favorisiert werden, weil sie

ein angenehmeres Ambiente bieten als die von zahlreichen Mängeln geplagten großen Städte. Und dies umso mehr, als ihr früher oft mit Recht beklagter zivilisatorischer Zustand durch den zwischenzeitlich erfolgten **Ausbau der Infrastruktur** im allgemeinen akzeptable, wenn im einzelnen auch durchaus noch verbesserungsbedürftige Verhältnisse bietet.

Fast noch bedeutungsvoller erscheint demgegenüber der Auf- und Ausbau eines **reichen kulturellen Umfeldes** insbesondere in den kleinen Städten, das freilich größtenteils von deren Bevölkerung selbst entwickelt und mit Leben erfüllt werden muß. Das Erstrebenswerte wäre hier ein aktives örtliches Kulturleben, bei dem es nicht auf Spitzenleistungen ankommen sollte, sondern auf die befriedigende Teilnahme möglichst vieler Bürger an diesbezüglichen Einrichtungen, die freilich von der Öffentlichkeit unterstützt oder überhaupt erst einmal ermöglicht werden müßten. Das Ziel sollte eine allgemeine kulturelle Aufrüstung des Landes sein, die zu echtem Heimatgefühl führen dürfte, nicht etwa im Sinne einer provinziellen „Heimattümelei“, sondern zu einer allgemeinen Urbanität des ganzen Landes.

Was kann nun eine sehr geschlossene wissenschaftliche Gesellschaft wie die Braunschweigische bei alledem tun? Zunächst natürlich dient sie einer **Verbreitung des wissenschaftlichen Spektrums** in Stadt und Land. Darüber hinaus aber trägt sie durch ihr **interdisziplinäres Wirken** dazu bei, naturwissenschaftlich-technische Möglichkeiten unter den betreffenden Fachgelehrten nach allen Richtungen hin ausführlich zu diskutieren, so daß mögliche Folgen technischer Prozesse früher und besser erkannt werden, und selbstverständlich trägt sie durch ihre **Veröffentlichungen** auch zur Speisung des Informationsflusses zwischen Wissenschaft und Wirtschaft bei.

Für das **kulturelle Umfeld** kann die bei der BWG angesiedelte Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte eine ganze Menge tun, indem sie auch breite Bevölkerungskreise interessierende Themen aufgreift und ihre Arbeitsergebnisse publiziert.

Das war und ist bereits der Fall hinsichtlich der schon erwähnten wissenschaftlichen Symposien über den **Braunschweiger Burglöwen**, die **Bernwardinische Kunst** in Hildesheim und demnächst über das **Evangelium Heinrichs des Löwen**. Und natürlich dürfen wir im Laufe der Zeit auch Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben der Kommission zum Thema „**Barock in Niedersachsen**“ erwarten.

Mit diesen Aktivitäten kann die Klasse für Geisteswissenschaften der Gesellschaft und die genannte Kommission aber noch mehr bewirken als die Bedienung eines allgemeinen freundlichen Interesses für Bau- und Kunstgeschichte. Durch die Behandlung der noch an vielen Orten sichtbaren Zeugen der Vergangenheit kann sie verdeutlichen, daß in diesem Lande Niedersachsen im Osten des wiederbelebten Heiligen Römischen Reiches **politische Zentren hohen Grades** bestanden, wie ein solches vor allem von jenem Heinrich, dem Kaisererkel, unter dessen Herrschaftszeichen, dem Löwen, wir heute tagen dürfen, geschaffen worden ist. Hier und hinsichtlich weiterer historischer Bezüge bietet sich die Möglichkeit eines **Brückenschlages** von einer bedeutenden Vergangenheit zur Gegenwart, der sicher dazu beitragen wird, daß sich die aus vielen Deutschen Ländern zusammengesetzte Bevölkerung dieses jungen Landes Nie-

dersachsen mit diesem ihrem Lande identifizieren kann und ein über eine bloße Wohnsitzgewöhnung hinausgehendes **Landeszugehörigkeitsgefühl** entwickelt.

Zur Entwicklung eines solchen Zugehörigkeitsgefühls gehören vor allem aber auch deutliche politische, soziale und insbesondere ökonomische Erfolge des Landes. Und damit kehre ich zurück zur Entwicklung technischer Werke in diesem und für dieses Land. Trotz hoher Arbeitslosenzahlen sind in letzter Zeit doch in einigen Wirtschaftszweigen deutliche Erfolge zu verzeichnen, und ein Land, in dem **die größte Industriemesse der Welt** erst vor wenigen Wochen mit einem Rekord an Ausstellern und Besuchern und guten Geschäftsabschlüssen zu Ende gegangen ist, gehört gewiß nicht zu einer Art wirtschaftlicher **Anökumene**.

Was die BWG zur Fortentwicklung dieses Landes beisteuern kann, ist mit alledem angedeutet. Darüber hinaus bleibt ihr als wissenschaftliche Institution von Rang jedoch noch die Erfüllung eines **officiums nobile**, nämlich die Ehrung von Gelehrten, deren wissenschaftliches Wirken bedeutende neue Erkenntnisse erbracht hat, das sogleich oder irgendwann einmal zu einer Verbesserung der menschlichen Daseinsbedingungen führen kann. In diesem Jahr hat die BWG **Herrn Prof. Dr. Ertl** für seine außerordentlichen Verdienste in einem Spezialbereich der physikalischen Chemie die Carl-Friedrich-Gauß-Medaille zuerkannt, und ich darf nun – indem ich Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit danke – den Vertreter der Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik, unser ordentliches Mitglied, **Prof. Dr. Haul**, bitten, die Laudatio für den zu Ehrenden zu sprechen.

Laudatio

zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille an Prof. Dr. rer. nat. Gerhard Ertl, München,

anlässlich der Feierlichen Jahresversammlung der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft
durch den Vertreter der Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik,
Prof. Dr. Ing. R. Haul, am 17. Mai 1985 in Braunschweig

In jüngster Zeit sind unsere Zeitungen und Fernsehsendungen voll mit Nachrichten und Diskussionen über die Einführung von Katalysatoren, kurz „KAT“ genannt. Die Autoabgase sollen schadstoffärmer werden, damit der Wald nicht stirbt, wobei man allerdings gerade aufgrund neuester phytopathologischer und epidemiologischer Untersuchungen gar nicht mehr so sicher ist, ob die Autoabgase wirklich die entscheidenden Verursacher der Waldschäden sind [1]. Merkwürdigerweise wird bei den oft so hitzigen, dafür aber weniger sachlich fundierten Diskussionen viel weniger betont, daß es auch für die Menschen viel gesünder wäre, wenn sie reinere Luft atmen können. Die Frage, was eigentlich ein Katalysator ist, interessiert dabei kaum im Vergleich zu den Kosten, die man für ihn aufwenden muß. Zum Glück kann man ein „KAT“-Auto auch fahren, ohne zu verstehen, wie es funktioniert; und wenn man ehrlich ist, dann verstehen auch die zuständigen Wissenschaftler erst in der letzten Zeit so einigermaßen, welche elementaren Reaktionsschritte bei der Katalyse ablaufen.

Das Phänomen der Katalyse ist seit dem Beginn des vorigen Jahrhunderts bekannt. Eines der spektakulärsten Beispiele ist die von Doebereiner entdeckte bereits bei Raumtemperatur erfolgende Entflammung eines Luft-Wasserstoff-Gemisches an fein verteiltem, metallischen Platin. Doebereiner, 1780 geboren, seit 1810 Professor für Chemie, Pharmazie und Technologie an der Universität Jena, hatte unmittelbar anschließend an diese Experimente darüber an seinen Gönner Goethe berichtet, den Staatsminister des Großherzogs Karl August von Sachsen-Weimar [2].

Er schreibt unter dem 29. Juli 1823:

„Hochwohlgeborener Herr, Gnädigster Herr Staatsminister!

Ich erlaube mir, Ew. Excellenz von einer Entdeckung Nachricht zu geben, welche vom physikalischen und elektrochemischen Gesichtspunkte aus betrachtet, im hohen Grade wichtig erscheint.

Ich finde nämlich in einer zusammenhängenden Reihe von Versuchen über das Verhalten einiger Platinpräparate, daß das rein metallische, staubförmige Platin die höchst merkwürdige Eigenschaft hat, das Wasserstoffgas durch bloße Berührung und ohne Mitwirkung äußerer Potenzen zu bestimmen, daß es sich mit Sauerstoffgas zu Wasser

bindet, wobei eine bis zum Erglühen des Platins gesteigerte Summe von Wärme erregt wird [3]. –

Ich freue mich auf den Augenblick, den Ew. Excellenz mir gönnen werden, Hochdenselben aufs neue die Beweise von Ehrfurcht darzubringen, mit welcher beharret

Ew. Excellenz
unterthäniger Doebereriner“

Als Mann mit praktischem Sinn hat Doebereriner aus seiner Entdeckung das nach ihm benannte Feuerzeug entwickelt, bei dem nach dem damals schon bekannten Prinzip des Kippschen Apparates aus Zink und Schwefelsäure der notwendige Wasserstoff entwickelt wurde. In den verschiedensten Ausführungsformen, oft künstlerisch reich verziert, spielte das Doebereriner-Feuerzeug damals, als es noch keine Zündhölzer gab, sondern Feuerstein, Stahl und Zündschwamm im Haushalt verwendet wurden, lange Zeit eine große Rolle.

Doebereriner war nicht nur auf den verschiedensten Gebieten um die wirtschaftliche Nutzung seiner chemischen Experimente bemüht, sondern hatte dabei auch weit vorausschauende Ideen konzipiert – sogar schon einen Explosionsmotor mit Wasserstoff-Luft-Gemischen und Platinzündung, auf dessen Realisierung wir auch heute noch warten.

Die Doebererinerschen Experimente fanden damals in erstaunlich kurzer Zeit weit über Deutschland hinaus größte Beachtung unter den Fachkollegen. Vor allem die Eigenschaft des edlen, wenig reaktionsfähigen Platins, bereits bei Raumtemperatur durch bloßen Kontakt chemisch zu wirken und dies ohne erkennbare Stöchiometriebeziehungen und praktisch unerschöpflich. Denken Sie daran, daß heutzutage von einem Auto-Katalysator auf Platin-Basis eine Lebensdauer gefordert wird, die mehr als 80.000 Fahrtkilometern entspricht [4]. Doebereriner hatte bereits die Vorstellung entwickelt, daß eine durch Attraktion bewirkte mechanische Verdichtung von Gasen an der Oberfläche des Metalls erfolgt, eine Auffassung, die dann von Faraday weiter verfolgt wurde.

Alle diese Kennzeichen enthalten im Kern schon Vorstellungen, die wir heute mit dem Begriff Katalyse verbinden, der 1835 von dem schwedischen Chemiker Berzelius eingeführt wurde. Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts ist vor allem durch Wilhelm Ostwald an der Universität Leipzig auf der Basis reaktionskinetischer Untersuchungen der Katalysatorbegriff neu gefaßt worden. Hiernach – so definieren wir heute – verändert ein in relativ geringer Menge zugesetzter Katalysator die Geschwindigkeit thermodynamisch möglicher Reaktionen, ohne daß er dabei verbraucht wird. Durch unterschiedliche Beschleunigung der Geschwindigkeit auf bestimmten Reaktionswegen kann so eine Selektivität für erwünschte Reaktionsprodukte erzielt werden. Die Industrie nutzt diese verfahrenstechnischen Möglichkeiten in größtem Umfang aus. Denken Sie z. B. an die bekannte Ammoniak-Synthese aus Stickstoff der Luft und Wasserstoff, die Synthese von Methanol und von Benzin aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff oder die Abgasentgiftung. In allen diesen Fällen handelt es sich um sog. heterogene Katalyse, von der auch im Vortrag von Herrn Ertl die Rede sein wird. Hierbei

erfolgen die chemischen Reaktionen an Festkörper-Oberflächen; zum Unterschied von der homogenen Katalyse, die in homogener Phase, in Gasen oder Flüssigkeiten abläuft. In beiden Fällen kommt am Ende der Reaktion der katalysierende Stoff unverbraucht wieder heraus. Es sieht so aus, als handle es sich um einen Automaten, in den man eine Münze einwirft und dieser dann das gewünschte Produkt liefert, aber obenrein noch die Münze wieder herausgibt. Kein Wunder, daß die Wissenschaftler begierig waren, herauszufinden, wie das alles funktioniert.

Im Laufe der Zeit wurden zahlreiche Methoden und Konzepte entwickelt, um den Mechanismus der heterogenen Katalyse aufzuklären und auf diese Weise gezielt optimale Katalysatoren herzustellen und damit frei zu werden von reiner Empirie. Hierzu gehören vor allem die von Langmuir ausgehenden Untersuchungen zur Chemisorption an Oberflächen, die auf H.S. Taylor zurückgehende Vorstellung, daß nur gewisse, sog. 'aktive Zentren' an der Oberfläche katalytisch wirksam sind, die leicht 'vergiftet' werden können, sowie der Einfluß sog. „geometrischer“ Faktoren. Letztere betreffen Korrespondenzen zwischen der Gittergeometrie der Katalysator-Oberfläche und den atomaren Abmessungen der regierenden Moleküle. In den 40er und 50er Jahren trat zur Deutung der Katalyse dann ein sog. „elektronischer Faktor“ hinzu, der die Wechselwirkungen zwischen dem Elektronenkollektiv eines metallischen oder halbleitenden Katalysators und den an der Oberfläche adsorbierten Molekülen berücksichtigt. Die gezielte Änderung der elektronischen Eigenschaften von Katalysatoren durch sog. Dotierung und deren Korrelation mit reaktionskinetischen Messungen, wie sie besonders von unserem kürzlich verstorbenen Kollegen Schwab untersucht wurde, können auch zu technisch verwertbaren Ergebnissen führen.

Eine neue Ära der Katalyseforschung setzt dann vor etwa 25 Jahren ein, ausgelöst durch die Entwicklung einer Reihe von elektronenspektroskopischen Methoden zur Untersuchung der Struktur und Reaktivität atomar reiner Oberflächen unter sog. Ultrahochvakuum-Bedingungen [5]. Die Pionierarbeiten gehen auf amerikanische Forscher zurück, aber schon wenige Jahre später begann Herr Ertl auf diesem wissenschaftlichen Neuland mit seinen Arbeiten, für die er heute mit der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille ausgezeichnet wird.

1936 in Stuttgart geboren, hat Herr Ertl in Stuttgart, Paris und München Chemie und Physik studiert und dann am Max-Planck-Institut für Metallforschung in Stuttgart von Prof. Gerischer seine Diplomarbeit ausgeführt, mit einem damals sehr aktuellen Thema: „Eine Temperatursprungmethode zur Untersuchung schneller Dissoziationsreaktionen mit Hilfe eines Mikrowellen-Impulses“. In seiner Dissertation „Über die Kinetik der katalytischen Oxydation von Wasserstoff an verschiedenen dotierten Germanium-Einkristallen“, aufgrund der er 1963 an der TH München promoviert wurde, kommen bereits – wie dies ja so oft der Fall ist – die Aspekte zum Ausdruck, die für seine weiteren wissenschaftlichen Arbeiten bestimmend waren. Kurz vor seiner 1967 erfolgten Habilitation lernte ich Herrn Ertl in seinem Labor kennen. Er experimentierte höchst eigenhändig mit einer für heutige Verhältnisse erstaunlich einfachen und im wahrsten Sinne des Wortes noch durchsichtigen Apparatur aus Glas, die allerdings keine üblichen gefetteten Glashähne mehr enthielt und als Ganzes ausheizbar war, um

so mit konventionellen Quecksilber-Diffusions-Vakuumpumpen Ultrahochvakuum von etwa 10^{-10} mbar zu erzielen. Es handelte sich um Untersuchungen von Oberflächenreaktionen an Kupfereinkristallen mit Hilfe der Beugung langsamer Elektronen.

Im Zuge des vom Wissenschaftsrat in den 60er Jahren empfohlenen Ausbaus der wissenschaftlichen Hochschulen wurden auch in Hannover in den chemischen Fächern Parallel-Lehrstühle eingerichtet. Obwohl Herr Ertl – damals 32 – sich gerade erst habilitiert hatte, bestand bei seiner Berufung als Ordinarius nach Hannover übereinstimmend die Meinung, daß er zu den besten Nachwuchskräften auf dem Gebiet der Physikalischen Chemie gehöre und besondere wissenschaftliche Leistungen erwarten ließe. Hinzu kam, daß sich beide Lehrstühle auf dem Gebiet der Oberflächenforschung besonders gut ergänzen würden.

In dieser Zeit erfolgte international eine geradezu stürmische Entwicklung der „Surface Science“ durch Einführung zahlreicher neuer Methoden zur Untersuchung von Vorgängen an atomar reinen und definierten Festkörperoberflächen. Aus den selbst gebastelten Glasapparaturen wurden immer perfektere und vielseitig anwendbare Ganzmetall-Ultrahochvakuum-Meßgeräte, die leider auch ständig kostspieliger wurden. Herr Ertl hatte richtig erkannt, daß eine optimale instrumentelle Ausrüstung unerlässlich war, um international auf diesem Arbeitsgebiet mithalten zu können. Ich nehme an, daß Herr Ertl zustimmen wird, wenn ich der Meinung bin, daß seine fünfjährige Tätigkeit in Hannover eine sehr schöpferische und erfolgreiche Phase seiner Laufbahn als Wissenschaftler gewesen ist.

Sehr bald fanden seine Arbeiten Anerkennung, und so erhielt er 1973 einen Ruf als Direktor am Institut für Grenzflächen- und Vakuumphysik der Kernforschungsanlage Jülich, sowie als Nachfolger von Professor Schwab auf den in der Katalyseforschung hochangesehenen Lehrstuhl für Physikalische Chemie an der Universität München. Wen kann man schon daran hindern, unter solchen Umständen in das aus vielen anderen Gründen attraktive München zurückzukehren, zumal dort die Errichtung eines Sonderforschungsbereichs der Deutschen Forschungsgemeinschaft auf dem Gebiet der Oberflächenforschung in Aussicht stand.

Ich möchte hier nicht auf die große Zahl von wissenschaftlichen Arbeiten eingehen, über 200 inzwischen, die Herr Ertl mit seinen Mitarbeitern publiziert hat. Darüber werden Sie von ihm selbst gleich Näheres erfahren. Ein wesentlicher Teil dieser Arbeiten befaßt sich mit Fragen der Vermessung der atomaren Topographie von Festkörperoberflächen und der Struktur geordneter Adsorptionsphasen. Wenn Sie so wollen, ist Herr Ertl, der Oberflächen-Landschaften geometrisch vermißt, ein entfernter Nachfahre von Carl Friedrich Gauß, der ja nicht nur als Mathematiker, sondern auch durch seine geodätischen Messungen in dieser Landschaft berühmt geworden ist.

Herr Ertl hat bereits eine Reihe von Auszeichnungen erhalten, die zeigen, welche hohe internationale Anerkennung er genießt: u. a. vom California Institute of Technology 1976, die Paul Emmett Award in Fundamental Catalysis der American Catalysis Society 1979, die E. W. Müller Award in Surface Physics der University of Wisconsin, Milwaukee 1979, er ist Elected Member der New York Academy of Sciences 1981 und Honorary Fellow der Royal Society of Edinburgh 1985.

1983 wurde erfolglos versucht, Herrn Ertl mit einem Ruf an die Universität Münster aus München wegzulocken. Aber der Haftkoeffizient – wie man so etwas bei Molekülen an Oberflächen nennt –, der damit den Wert eins zu haben scheint, hat sich in allerjüngster Zeit erstaunlicherweise nun doch drastisch gesenkt. Herr Ertl hat kürzlich die Berufung zum Direktor am Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin-Dahlem angenommen. Wie Herr Ertl mir sagte, hat er diese Entscheidung, die ihm sicherlich nicht leicht gefallen ist, getroffen unter dem Druck durch Lehr- und viele andere Verpflichtungen, der heute an den Hochschulen herrscht. Vor allem aber bieten sich ihm am Max-Planck-Institut und am Berliner Elektronen-Synchrotron hervorragende Möglichkeiten auf dem Gebiet der Oberflächenforschung. Zugleich bedeutet seine Entscheidung auch eine positive Einstellung zur Zukunft Berlins.

Ich darf sicherlich in Ihrer aller Namen sprechen, wenn ich Herrn Ertl weiteren Erfolg für seine neuen Aufgaben wünsche.

Literatur

- [1] O. Kandler: „Waldschäden Immissions – versus Epidemie – Hypothesen“. In: „Waldschäden 1985“. Kolloquium an der Universität Hohenheim, 24./25. Januar 1985. Edit. v. Kortzfleisch. Oldenbourg Verlag, 1985 (im Druck).
- [2] A. Mittasch: „Doebereiner, Goethe und die Katalyse“, Hippokrates Verlag Marquardt u. Cie., Stuttgart, 1951.
- [3] J.W. Doebereiner: „Zur Chemie des Platins in wissenschaftlicher und technischer Beziehung“, Verlag Balz, Stuttgart, 1836.
Für seine Experimente hatte Doebereiner einige Kilogramm Platin, aus dem Ural stammend, vom Großherzog zur Verfügung erhalten [2].
- [4] E. Koberstein: „Katalysatoren zur Reinigung von Autoabgasen“, Chemie in unserer Zeit, **18** (1984), 37.
- [5] G. Ertl und J. Küppers: „Low Energy Electrons and Surface Chemistry, Verlag Chemie, Weinheim, 1974.

Struktur und Reaktivität von Oberflächen

Von **G. Ertl**, Institut für Physikalische Chemie der Universität München

Zum Erfolg eines Forschers gehören bekanntlich die drei großen **G's**: **Geduld**, **Geld** und **Glück**.

Geduld ist eine Charaktereigenschaft, die man selbst vielleicht nicht so richtig beurteilen kann. Ich vermute auch, daß in diesem Punkt bisweilen meine eigene Meinung von der meiner Mitarbeiter abweicht. Fehlendes **Geld** hat eigentlich nie ernsthaft den Fortgang unserer Forschungsarbeiten beeinträchtigt. Ich möchte an dieser Stelle den Förderinstitutionen unseres Landes (um die wir in der ganzen Welt beneidet werden) – in erster Linie der Deutschen Forschungsgemeinschaft – herzlich danken, die unsere Projekte stets in großzügiger Weise unterstützten.

Am wichtigsten erscheint mir das **Glück**. Ich hatte zunächst das Glück, in Heinz Gerischer einen Lehrer zu finden, der mir – obwohl selbst auf einem etwas anderen Gebiet wissenschaftlich tätig – die entscheidenden Impulse und die notwendige Unterstützung bei den ersten Schritten auf dem eigenen Weg zuteil werden ließ. Sodann hatte ich das Glück, in Hannover in Robert Haul einen älteren und erfahrenen Kollegen zu finden, bei dem ich lernte, wie man einen größeren Forschungsbetrieb organisiert. Vor allem aber hatte ich stets das Glück, von einer Schar ausgezeichneter Mitarbeiter umgeben zu sein, die mit Ausdauer und Begeisterung die Erreichung der gesteckten Ziele anstreben.

Wenn man mit dem dritten **G** besonders gesegnet ist, gesellt sich vielleicht noch das vierte **G** hinzu: die **Gauß-Medaille**. Ich fühle mich der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft für diese hohe Auszeichnung zu tiefem Dank verbunden und werde diese gleichzeitig als Verpflichtung und Ansporn für meine künftige Tätigkeit betrachten.

In der von der BWG herausgegebenen Pressemitteilung stand u. a. zu lesen, ich sei ein Katalysator-Fachmann. (Ich selbst scheue mich etwas, dieses Prädikat für mich in Anspruch zu nehmen, da sich unsere Arbeiten stets nur auf die Grundlagen und weniger auf die technischen Anwendungen der Katalyse konzentrierten). Heute vormittag vermerkte Herr Kollege Wannagat bereits, daß es sich bei dem Begriff „Katalyse“ derzeit um ein Modewort handle. Davon bekam ich nach Veröffentlichung der erwähnten Pressemitteilung auch etwas zu spüren. Unter anderem wollte man von mir Näheres über das Aufhalten des Waldsterbens wissen, ein Erfinder stellte mir den „idealen“ Katalysator vor, und ein Anrufer fragte: „Haben Sie den Katalysator erfunden?“. Letzterer war im weiteren Verlauf dieses Gesprächs dann recht erstaunt, als er erfuhr, ein wie umfassendes Phänomen die Katalyse darstellt, das z. B. die Grundlage der Lebensvorgänge wie auch der chemischen Industrie bildet. Über diese beiden Aspekte wurde ja auch in eindrucksvoller Weise von den beiden Referenten des heute vormittag abgehaltenen Symposiums berichtet.

Die Rolle eines Katalysators kann man vielleicht mit der eines Bergführers vergleichen, dessen Inanspruchnahme die mit dem geringsten Aufwand verbundene und damit schnellste Überwindung eines geographischen Hindernisses ermöglicht und der nach Erledigung dieser Aufgabe seine Dienste erneut zur Verfügung stellen kann. Dem Kontrakt mit dem Führer entspricht bei einer chemischen Reaktion eine intermediäre Bindung der an dieser Reaktion beteiligten Moleküle an den Katalysator, und die damit verbundene Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit (d. h. der Zahl der pro Zeiteinheit umgesetzten Moleküle) wird dadurch ermöglicht, daß nunmehr ein anderer Reaktionsweg eingeschlagen wird, der in der Regel mit einem geringeren Energieaufwand (= „Aktivierungsenergie“) verbunden ist. Bei den biologischen Prozessen übernehmen diese Rolle andere, Enzyme genannt Moleküle, während bei der Mehrzahl der technischen Katalysen dieser Effekt durch die Bindung an die Oberfläche eines Festkörpers erzielt wird. Die Elementarvorgänge letzterer Prozesse bilden den Gegenstand unserer eigenen Forschungsarbeiten.

Einige Beispiele für technische Anwendungen der heterogenen Katalyse sollen hier angeführt werden:

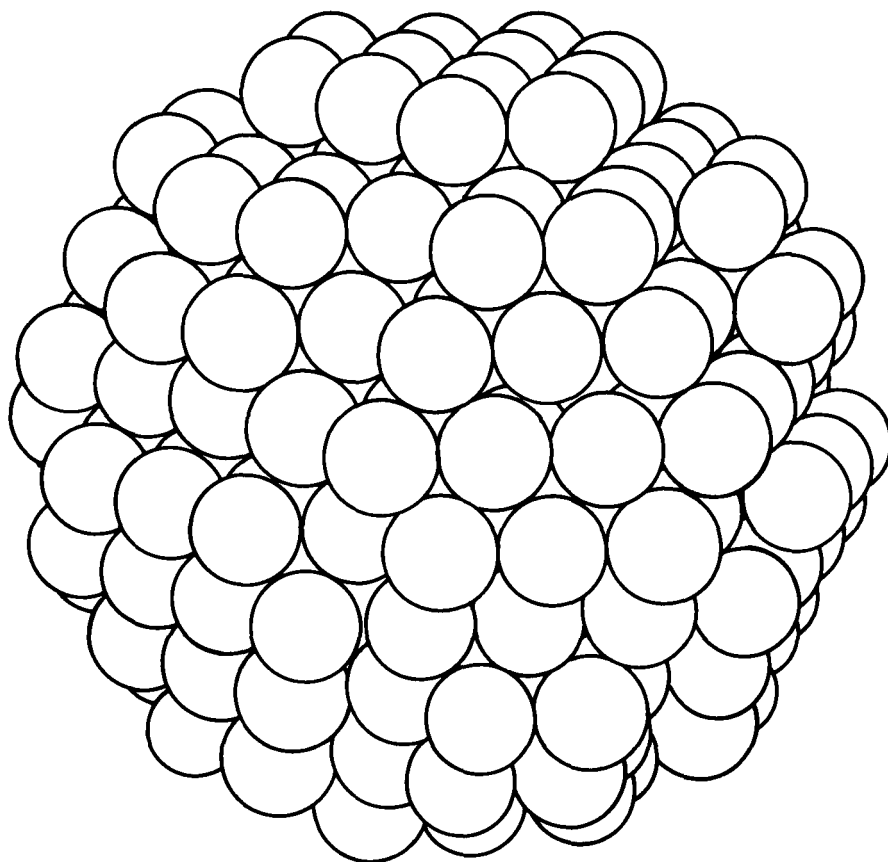
1. Die Synthese vom Ammoniak (NH_3) aus Stickstoff (N_2) und Wasserstoff (H_2) wurde im technischen Maßstab (Haber-Bosch-Verfahren) erstmals 1913 realisiert und stellt u. a. die Grundlage der Düngemittel-Produktion dar. Man kann sicher mit Recht sagen, daß unsere Welt heute anders aussehen würde, wenn dieses Problem nicht hätte technisch gelöst werden können.

2. Damit unsere Autos überhaupt Abgase produzieren, müssen sie erst einmal fahren. Die Weiterverarbeitung des Erdöls zu Benzin (und anderen Produkten) basiert in erheblichem Umfang auf dem Einsatz katalytischer Verfahren.

3. Im Abgas-Katalysator werden schädliche Stoffe in unschädliche umgewandelt. Eine dieser Reaktionen stellt die Oxidation von Kohlenmonoxid (CO) zu Kohlendioxid (CO_2) dar, anhand derer – als besonders einfaches Beispiel – ich anschließend die Prinzipien der heterogenen Katalyse erläutern möchte.

Der von Herrn Haul zitierte Brief Döbereiners an Goethe enthält bereits zwei wesentliche Aspekte dieser sogenannten „heterogenen Katalyse“: Es wird vermerkt, daß das **staubförmige** Platin den beschriebenen Effekt durch **bloße Berührung** der reagierenden Gase auslöst. Bei einer vorgegebenen Stoffmenge wird die Oberfläche (und damit die katalytische Aktivität) umso größer sein, je feinverteilter dieser Stoff ist – daher „staubförmig“, und die „Berührung“ führt zur Ausbildung intermediärer chemischer Bindungen (Chemisorption) zwischen den reagierenden Teilchen und der Oberfläche. Technische Katalysatoren bestehen daher typischerweise aus Teilchen mit einem Durchmesser von etwa einem millionstel Zentimeter (= 100 Angström), wodurch Oberflächen bis zu ca. 100 Quadratmeter pro Gramm Katalysatormaterial erzielt werden.

Ein Modell eines derartigen Metall-Katalysatorteilchens ist in der Abbildung dargestellt. Die Kugeln repräsentieren die individuellen Atome, die im Inneren des Teilchens jeweils mit der optimalen Zahl und Konfiguration von Nachbaratomen chemische Bindungen ausbilden. Den Atomen an der Oberfläche fehlt jedoch ein Teil dieser Nach-



barn, und ihre Bindungen sind teilweise unabgesättigt – diese Tatsache befähigt die Oberflächenatome zur Ausbildung der Chemisorptionsbindung mit geeigneten aus der Gasphase auftreffenden Teilchen.

Während der Reaktion wird die Oberfläche einem kontinuierlichen Fluß von reagierenden Molekülen aus der Gasphase ausgesetzt sein, die dort gebunden werden, miteinander reagieren und schließlich als Produkt wieder die Oberfläche verlassen. Die spezifische Reaktionsgeschwindigkeit, d. h. die Zahl der pro Sekunde und pro Quadratmeter Katalysator-Oberfläche umgesetzten Moleküle hängt im wesentlichen ab von der Natur des eingesetzten Katalysators, von den Drücken der an der Reaktion beteiligten Stoffe, sowie von der Temperatur. Die Optimierung dieser Parameter stellt die wesentliche Aufgabe der industriellen Katalysatorforschung dar, wie dies im Vortrag von Herrn Mroß heute vormittag eindrucksvoll demonstriert wurde. Über die molekularen Vorgänge erfährt man durch diese Vorgehensweise allerdings recht wenig. Hierzu ist eine direkte Erfassung der Oberflächen-Wechselwirkungen erforderlich.

Die Abbildung zeigt, daß die Anordnung der Oberflächenatome relativ zueinander recht unterschiedlich sein kann. (Man spricht hierbei von verschiedenen Kristallflächen). Hinzu kommt, daß technische Katalysatoren häufig nicht aus einer einzigen Atomsorte bestehen: Geringe Zusätze von **alleine** unwirksamen Fremdatomen können die Aktivität erheblich steigern („Promotoren“), während andere wiederum zu einer Verschlechterung führen („Katalysatorgifte“). Um diese Effekte gezielt studieren zu können, ist es zweckmäßig, mit Proben möglichst einheitlicher periodischer Anordnung der Oberflächenatome als Modelle zu arbeiten. Dies sind sogenannte Einkristall-Oberflächen, und die Forderung nach der Abwesenheit von Fremdatomen macht die Anwendung extrem guter Vakuum-Bedingungen („Ultrahochvakuum“) erforderlich. Die Untersuchung der atomaren Prozesse auf solchen Oberflächen kann mit einer Vielzahl physikalischer Methoden erfolgen, deren wichtigste niederenergetische Elektronen (dies sind die kleinsten negativ geladenen Bausteine der Materie) als Sonden verwenden. Die Entwicklung der Ultrahochvakuum-Technik und der erwähnten oberflächenphysikalischen Methoden während der letzten beiden Jahrzehne ermöglichte nun tatsächlich erstmalig detaillierte mikroskopische Einblicke in das Wesen der heterogenen Katalyse.

Wir kehren nun zu der bereits erwähnten Oxidation von Kohlenmonoxid zurück, wofür Platin und verwandte Edelmetalle wirksame Katalysatoren darstellen.

Ein auf eine Platin-Oberfläche auftreffendes CO-Molekül wird dort mit hoher Wahrscheinlichkeit gebunden, d.h. der Haftkoeffizient ist nahe eins, und zwar derart, daß die Kopplung über das C-Atom erfolgt und die Molekülachse senkrecht zur Oberfläche steht. Dieses absorbierte Molekül kann leicht über die Oberfläche wandern (diffundieren), da die Energieunterschiede zwischen verschiedenen Positionen auf der Oberfläche relativ gering sind. Wenn die Temperatur hoch genug ist (etwa 200°C), reicht die thermische Energie aus, um die Bindungsenergie an die Oberfläche wieder zu überwinden – das Molekül verläßt die Oberfläche, d.h. desorbiert. Bei einer vorgegebenen Temperatur und festem CO-Druck wird sich ein Gleichgewicht einstellen derart, daß pro Zeiteinheit genauso viele Moleküle an die Oberfläche gebunden werden wie diese wiederum verlassen, und daß sich auf der Oberfläche ein bestimmter Bedeckungsgrad einstellt. Der maximale Bedeckungsgrad ist durch eine dichte Packung der adsorbierten CO-Moleküle gekennzeichnet. Durch die Bindung an die Oberfläche werden zwar die Bindungsverhältnisse innerhalb des Moleküls verändert (was z.B. durch eine geänderte Frequenz der C-O-Schwingung zum Ausdruck kommt), aber ein Aufbrechen der C-O-Bindung erfolgt nicht.

Ganz anders liegen die Verhältnisse beim Sauerstoff, dem zweiten Reaktionspartner, der in der Gasphase als O₂-Molekül vorliegt. Dieses wird zwar zunächst ebenfalls molekular an die Oberfläche gebunden. Von diesem Zustand aus erfolgt jedoch sehr leicht ein Bruch der O-O-Bindung, so daß adsorbierte O-Atome den Endzustand dieser Wechselwirkung darstellen. Ermöglicht wird dieser Prozeß durch die Ausbildung von 2 Metall-O-Bindungen, die die Energie der O-O-Bindung erheblich überkompensieren. In dieser Fähigkeit zur leichten Bindungsspaltung (Dissoziation) liegt der wesentliche Schlüssel für die Wirkungsweise des Katalysators.

Die Dissoziation des O_2 -Moleküls erfordert mehrere benachbarte Oberflächenatome, deren Valenzen nicht bereits durch die Bindung von anderen Teilchen in Anspruch genommen sind. Aus diesem Grund wird dieser Prozeß blockiert, wenn der CO-Bedeckungsgrad einen kritischen Wert übersteigt. (Eine ganz ähnliche Ursache liegt der physiologischen Giftigkeit des Kohlenmonoxids zugrunde, wodurch die Sauerstoffaufnahme im Blut unterdrückt wird). Die maximale Bedeckung mit chemisorbierten O-Atomen ist auf der anderen Seite mit relativ großen Abständen zwischen den Teilchen verbunden; Adsorption von CO ist in dieser weitmaschigen Struktur immer noch möglich.

Die Bildung des Reaktionsprodukts CO_2 erfolgt nun anschließend durch Kombination zwischen adsorbiertem O und CO. Dieser Schritt läuft bei $200^\circ C$ in etwa einer tausendstel Sekunde ab. Das gebildete CO_2 verläßt die Oberfläche in noch kürzerer Zeit, so daß der Katalysator seine Aufgabe sehr häufig wiederholen kann. Diese hohe Wirksamkeit beruht zum Teil darauf, daß die Bindung des Sauerstoffs an die Oberfläche nicht zu stark ist. Dies wäre bei den Nicht-Edelmetallen der Fall, die leicht oxidiert werden und eine Reaktion zwischen O und CO weniger schnell ablaufen lassen.

Bei der hier erläuterten Reaktion ist die Aktivität der verschiedenen Kristallflächen sehr ähnlich. Bei anderen Reaktionen ist dies nicht so. Hier können bestimmte Kristallflächen oder auch Abweichungen von der periodischen Kristallstruktur (Strukturdefekte) eine erhöhte Aktivität aufweisen; man spricht dann manchmal von ‚aktiven Zentren‘. Wie früher bereits erwähnt, kann manchmal die Anwesenheit bestimmter Zusätze (wie z. B. Kalium beim Ammoniak-Katalysator) die Aktivität erhöhen. Umgekehrt beeinflussen andere Stoffe (wie z. B. Blei beim Autoabgas-Katalysator) die Bindung der reagierenden Moleküle an die Oberfläche in einer Weise, daß die Aktivität stark reduziert wird. Auch diese Phänomene werden nunmehr einem mikroskopischen Verständnis zugänglich.

Diese knappen Andeutungen sollen erläutern, daß die ‚reale‘ Katalyse häufig mit recht komplexen Systemen verbunden ist, die dieses Phänomen oft als schwarze Kunst erscheinen lassen. Aufgrund des Einsatzes verfeinerter experimenteller Methoden und damit einhergehender tieferer theoretischer Erkenntnis löst sich jedoch dieses Gebiet derzeit von seiner alchemistischen Tradition und ermöglicht die Entwicklung zu einer Wissenschaft, die von einem Verständnis der Grundlagen geprägt ist, wie dies das allgemeine Ziel naturwissenschaftlicher Forschung darstellt.

DIE BRAUNSCHWEIGISCHE WISSENSCHAFTLICHE GESELLSCHAFT

VERLEIHT DIE CARL-FRIEDRICH-GAUSS-MEDAILLE

HERRN PROFESSOR DR. RER. NAT.

GERHARD ERTL

IN WÜRDIGUNG SEINER AUSSERORDENTLICHEN
VERDIENSTE AUF DEM GEBIET
DER FESTKÖRPER-GRENZFLÄCHEN-FORSCHUNG

Professor Dr. Gerhard Ertl hat insbesondere durch seine grundlegenden Untersuchungen der Struktur- und Bindungsverhältnisse in geordneten Adsorptionsschichten an Einkristalloberflächen wesentliche Elementarschritte technisch wichtiger katalytischer Prozesse aufgeklärt.

Braunschweig, den 30. April 1985



Präsident
der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft

Ertl, Gerhard, Dr. rer. nat., o. Prof. für Physikalische Chemie an der Universität München

geboren: 10. 10. 1936 in Stuttgart
 1955 Reifeprüfung am Kepler-Gymnasium in Stuttgart
 1955–1975 Studium der Physik an der TH Stuttgart
 1958–1959 Studium an der Universität Paris
 1959/60 Universität München
 1959–1961 TH Stuttgart
 1961 Dipl.-Physiker, TH Stuttgart
 1965 Dr. rer. nat., TH München
 1967 Habilitation für Physikalische Chemie
 1968–1973 o. Prof. für Phys. Chemie TH Hannover
 1973 Ruf als Direktor an der Kernforschungsanlage Jülich (abgelehnt)
 seit 1973 o. Prof. für Phys. Chemie, Universität München
 1976/77 Gastprofessor Dept. of Chemical Engineering,
 California Institute of Technology, Pasadena, USA
 1979 Dept. of Physics, University of Wisconsin – Milwaukee
 1982/83 Dept. of Chemistry, University of California, Berkeley
 1983 Ruf an die Universität Münster (abgelehnt)
 Mitglied: Exekutiv-Komitee für Oberflächenphysik, European Physical Society, seit 1981
 Committee for Colloid and Surface Chemistry, 1975–1978, IUPAC
 Scientific Council, Inst. M. v. Laue – P. Langevin, Grenoble 1977–1978

Auszeichnungen, Ehrungen:

1976 Sherman Fairchild Distinguished Scholar, California Institute of Technology
 1977 Frank C. Ciapetta National Lectureship, American Catalysis Society
 1979 Paul H. Emmet Award in Fundamental Catalysis, American Catalysis Society
 1979 E. W. Müller Award in Surface Physics, University of Wisconsin – Milwaukee
 1981 Elected Member, New York Academy of Sciences
 1984 FECS Lectureship, Federation of European Chemical Societies
 1984 Industry Lectureship, Norwegian Chemical Society
 1985 Centenary Lectureship, Royal of Chemistry
 1985 Carl-Friedrich-Gauß-Medaille der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Schlußwort des Generalsekretärs

Sehr verehrter Herr Professor Ertl!

Meine Damen und Herren!

Wie in den vergangenen Jahren habe ich als Generalsekretär der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft jetzt die Ehre und Pflicht, Dank zu sagen. Zuerst dem diesjährigen Gauß-Medaillenträger, Ihnen, Herr Professor Ertl. Sie haben uns in Ihrem heutigen Vortrag in sehr eindrucksvoller Weise Einblick in ein hochaktuelles Forschungsgebiet gewährt und damit dieser Veranstaltung das wissenschaftliche Gewicht gegeben.

Es ist schon Tradition, diese feierliche Jahresversammlung unserer Gesellschaft mit einer wissenschaftlichen Vortragsveranstaltung zu begleiten.

Unser Dank gilt den Vortragenden, Herrn Professor Dr. Simon von der Universität München für seinen Beitrag „Einiges über Biokatalyse und Möglichkeiten ihrer Anwendung“ und Herrn Dr. Mroß, BASF Ludwigshafen, für seinen Beitrag „Entwicklung technischer Katalysatoren“.

Wir danken dem „Kanzlerfelder Bläseroktett“ für die musikalische Umrahmung dieser Feier und allen denen, die durch ihre Teilnahme an der Tagung und an diesem Festakt die Verbundenheit mit der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft bekundet und diesen Veranstaltungen durch ihr Erscheinen den entsprechenden Rahmen gegeben haben.

Jetzt darf ich noch darauf hinweisen, daß im Anschluß ein Empfang der Stadt im Bürgermeisterzimmer, neben dieser Dornse, stattfindet.

Ich danke Ihnen für Ihre Geduld und Aufmerksamkeit.

Veröffentlichungen

Im Berichtsjahr wurden veröffentlicht:

„Jahrbuch 1984 der BWG“

„Abhandlungen der BWG“, Bd. XXXVI (1984)

„Der Braunschweiger Burglöwe“ in der Schriftenreihe der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte, Bd. 2

Im Druck befinden sich:

„Jahrbuch 1985 der BWG“

„Abhandlungen der BWG“, Bd. XXXVII (1985)

„Bernwardinische Kunst“ in der Schriftenreihe der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte, Bd. 3

Geschäftliche Mitteilungen

Während der Berichtszeit trat das Plenum zu 2 Wahlsitzungen (15.3. und 13.12.1985) und zu der durch die Satzung vorgeschriebenen Hauptsitzung (13.12.1985) zusammen. Es wählte Prof. Dr. rer. nat. Gerhard Oberbeck für die Amtsperiode vom 1.1.1987 bis zum 31.12.1989 zum Präsidenten und Prof. Dr. rer. nat. Egon Richter für die Amtsperiode vom 1.1.1986 bis zum 31.12.1988 zum Generalsekretär. Die Niedersächsische Landesregierung hat diese Wahlen durch den Niedersächsischen Minister für Wissenschaft und Kunst gemäß § 17 (1) der Gesellschaftssatzung bestätigt. Die Klasse für Geisteswissenschaften wählte Prof. Dr. phil. Martin Gosebruch für die Amtsperiode vom 1.1.1986 bis zum 31.12.1989 erneut zu ihrem Vorsitzenden. Gewählt wurden ferner 10 ordentliche und 4 korrespondierende Mitglieder (siehe auch Personalia). Ferner beschloß das Plenum in der genannten Hauptsitzung den Haushaltsentwurf für 1987 und erteilte dem Verwaltungsausschuß für das Geschäftsjahr 1984 Entlastung.

In zwei Sitzungen (12.7. und 4.11.1985) beriet und erledigte der Verwaltungsausschuß laufende Geschäfte, und das im Anschluß an diese Sitzungen tagende Konzil bereitete die für 1986 anstehende Wahl des Präsidenten sowie die noch in 1985 durchzuführende Wahl des Generalsekretärs vor. Und schließlich beschloß das Konzil nach den Bestimmungen über die Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille diese für 1986 Herrn Prof. Dr. phil. Arno Borst, Konstanz, anzutragen. Der Genannte hat diese Ehrung sogleich angenommen, die Auszeichnung wird ihm im Rahmen der Feierlichen Jahresversammlung 1986 überreicht werden. Als Termin für die letztgenannte, die in dem traditionellen Rahmen durchgeführt werden soll, setzte das Konzil den 6.6.1986 fest.

Nachrufe

Günther Cario

* 3. 8. 1897 † 18. 9. 1984

Vorgetragen in der Plenarversammlung am 11. Januar 1985

Von **Ch. Schwink**, Braunschweig

Herr Prof. em. Dr. phil. Günther Cario ist am 18. September 1984 im Alter von 87 Jahren *friedlich* entschlafen.

Günther Cario wuchs in seiner Vaterstadt Göttingen auf. Seine schon in der Jugend aufgetretene lebhaftige Neigung zu den Naturwissenschaften ließ ihn nach dem Abitur 1916 das Studium der Physik an der Göttinger Universität ergreifen. Bereits während seiner Studienzeit hatte er von 1917–1919 an der berühmten Modellversuchsanstalt für Aerodynamik unter ihrem Leiter Ludwig Prandtl Gelegenheit zu ersten eigenen wissenschaftlichen Arbeiten. Seine Dissertation über die Entstehung wahrer Lichtabsorption und die scheinbare Koppelung von Quantensprüngen, mit der er 1922 zum Dr. phil. promoviert wurde, führte er am Institut von James Franck durch, dem Nobelpreisträger des Jahres 1925.

In den folgenden Jahren erlebte er als Assistent von James Franck am II. Physikalischen Institut der Göttinger Universität die Blütezeit der Physik in Deutschland. Im Mittelpunkt des Interesses standen damals Fragen über den Bau und die Strahlung von Atomen und Molekülen. Cario konnte an der erregenden, stürmischen Entwicklung, die zur Begründung der Quantenmechanik führte, nicht nur teilnehmen, sondern zu ihr durch eigene Arbeiten auch wesentliche Beiträge leisten. Es entstanden Arbeiten über die Dissoziation von Molekülen durch angeregte Atome und über die sensibilisierte Fluoreszenz, deren Ergebnisse große Beachtung bei den Physikern in aller Welt fanden. 1927 habilitierte sich Cario mit einer Untersuchung über die Wellenlänge der grünen Linie des Nordlichts, danach ging er für ein Jahr als Fellow of the International Education Board nach Princeton. Hier in den Vereinigten Staaten entstanden die ersten Arbeiten über den aktiven Stickstoff, durch die er zu den Problemen der Lichterscheinungen in der oberen Atmosphäre und des Nordlichts und zu den damit zusammenhängenden Fragen der Reaktionskinetik und der Elementarprozesse in aktiven Gasen geführt wurde. Auf diesen Gebieten der Atomphysik lag dann auch der Schwerpunkt seiner Arbeiten nach der Rückkehr nach Deutschland.

1935 wurde Cario in Göttingen zum außerordentlichen Professor ernannt, ein Jahr darauf ging er als ordentlicher Professor an die damalige Technische Hochschule Braunschweig. Er folgte damit Hermann Diesselhorst auf den einzigen Lehrstuhl für Physik,

den es zu dieser Zeit in Braunschweig gab. Cario stellte sich von Beginn seiner Braunschweiger Tätigkeit an zwei Aufgaben: neben der Fortführung der eigenen Forschungsarbeiten wollte er das Fach Physik an der TH Braunschweig so ausbauen und erweitern, wie er es für die vorhergesehene zukünftige Entwicklung dieses Grundlagenfaches für notwendig und unerlässlich hielt. Seine gerade begonnenen Bemühungen in beiden Richtungen wurden durch den Ausbruch des Krieges 1939 sehr beeinträchtigt, durch die völlige Zerstörung des Physikalischen Instituts 1944 ganz unterbrochen. In die Kriegsjahre fallen zwei wichtige Ereignisse: 1940–1944 diente Cario der Technischen Hochschule als Dekan der Fakultät für Allgemeine Wissenschaften, 1943 gehörte er zu den Mitbegründern der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Nach dem Kriege nahm Cario seine Ziele mit der ihm eigenen Stetigkeit und Zähigkeit wieder auf. Er erreichte es zunächst, daß ein Institut für „Technische Physik“ und eines für „Theoretische Physik“ gegründet wurden, denen später noch zwei weitere Physikinstitute folgten. 1965–1968 fand dann durch den Bau des Physikzentrums, für den sich Cario über viele Jahre hin ständig eingesetzt hatte, und der schließlich am Ende seiner Dienstzeit verwirklicht wurde, die Erweiterung der Physik an der TH Braunschweig ihren bisherigen Abschluß.

Während dieser Zeit wurden die früheren Forschungsarbeiten des Instituts in der Optik, der Reaktionskinetik und der Physik ionisierender Gase wieder voll aufgenommen und diesen Interessengebieten neue hinzugefügt, nämlich Kristallphysik, Oberflächenphysik und niederenergetische Kernphysik. Die Erfolge in allen diesen verschiedenen Bereichen physikalischer Forschung waren groß.

Ein wesentlicher Teil des Wirkens von Cario war die akademische Lehre. In den entbehrungsreichen Nachkriegsjahren mußte die große Experimentalvorlesung unter schwierigsten Umständen in jeder Woche mehrmals gehalten werden, um den großen Andrang aller Naturwissenschaftler und Ingenieure zu bewältigen. Den Aufwand an Kraft und persönlichen Einsatz, den das erforderte, kann nur jemand ermessen, der diese Zeit an einer deutschen Universität selbst erlebt hat. Erst 1962 besserten sich die Verhältnisse durch den von Cario erwirkten Bau eines eigenen Physikhörsaals nachhaltig.

Der Zusammenarbeit mit der optischen Industrie, die früher im Braunschweiger Raum stark vertreten war, galt ein besonderes Bemühen Carios. Seine Wahl zum Vizepräsidenten des Internationalen Optischen Komitees von 1962–1966 spiegelt den Erfolg auch dieses Wirkens wider. Schließlich ist noch seine Verbindung mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig hervorzuheben, die zum gegenseitigen Nutzen stets gepflegt wurde.

Der Verfasser dieser Zeilen lernte Günther Cario – der Name war von Pohls Optik seit langem vertraut – persönlich erst als Emeritus kennen. Eine hagere, sehr große, vornehme Gestalt mit leiser, bedächtigter Rede und gütigen, dabei lebhaften Augen: das war der erste Eindruck, der gleichermaßen Hochachtung und Vertrauen einflößte. Der Eindruck bestätigte und festigte sich in vielen Begegnungen der folgenden Jahre.

Immer war da die jugendliche Neugierde, die Cario zeit seines Lebens allem naturwissenschaftlichen und Physikalischen entgegenbrachte, auch solchen Dingen, die den

vielen Gebieten der eigenen Arbeit ferner lagen. Bis in sein letztes Lebensjahr nahm er fast regelmäßig am Physikalischen Kolloquium teil und eine das Wesentliche rasch erkennende Auffassungsgabe und ein bewundernswertes Gedächtnis ließen ihn Vorgetragenes sicher beurteilen: als wirklich oder nur scheinbar Neues. Dieses Urteil wurde nie ausgesprochen, man mußte es aus einem kritischen Blick, einem leisen Schmunzeln selbst ablesen.

Auch das Herz Carios blieb bis ins hohe Alter jung. Verwunderte schon, wenn einem der feingliedrig wirkende Mann in einem persönlichen Gespräch einmal seine Liebe zum Hochgebirge entdeckte, so ließ sich ein Staunen nicht verbergen, wenn man unerwartet präzise Einzelheiten über Motorräder und ihre Entwicklung erfuhr, und wenn dann eine nüchterne Schilderung das unvergleichliche Erlebnis einer Motorradfahrt von Braunschweig bis auf die höchsten Alpenpässe an einem Tag, manchmal mit der Gattin im Seitenwagen, beschrieb – endend mit der Bemerkung, daß so eine Fahrt mit einer der ganz neuen, ganz schweren Maschinen wohl nicht mehr vergönnt sein werde.

Welche Persönlichkeit aber Cario war, das erfuhr man ganz unmittelbar dann, wenn man seinen Rat suchte. Freilich, ungefragt behielt er seine Meinung über eine Sache, erst recht jeden Rat, bei sich. Doch offen darum gebeten, breitete er seine Gedanken und seine stets auf reichen Erfahrungen beruhenden Ansichten bereitwillig aus und beleuchtete sorgfältig die verschiedenen Möglichkeiten, einen Sachverhalt zu betrachten. Das geschah dabei stets so, daß der Fragende am Ende frei eine eigene Entscheidung treffen konnte, jetzt aber versehen mit einer Fülle von Einsichten eines scharfen Beobachters mit einem weisen Urteil.

Wer das Glück hatte, Günther Cario im vertrauten Gespräch zu erleben, dem wird der vielseitige Gelehrte, der gütige, weise Mensch, die große Persönlichkeit unverlierbar im Gedächtnis bleiben.

Personalia

Todesfälle

- Sommer 1985 Kurt Klöppel (15. 9. 1901 – 1985)
Prof. Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille des Jahres 1961, korrespondierendes Mitglied der BWG seit 1974
25. 8. 1985 Hans Joachim Schumacher (23. 9. 1904 – 25. 8. 1985)
Prof. Dr. phil., Dr. h.c., korrespondierendes Mitglied der BWG seit 1969
5. 11. 1985 Roberto Salvini (6. 2. 1912 – 5. 11. 1985)
Prof. Dr. phil., korrespondierendes Mitglied der BWG seit 1983

Zuwahlen

Zu ordentlichen Mitgliedern wurden am 15. 3. 1985 gewählt

in die Klasse der Ingenieurwissenschaften

Bretthauer, Karlheinz, Dr.-Ing., o. Professor für Elektrotechnik an der TU Clausthal, Berliner Straße 45, 3392 Clausthal-Zellerfeld

- | | |
|----------------|---|
| geboren: | 5. 3. 1922 in Hannover |
| 1932–1939 | Realgymnasium/Telkkampfschule Hannover |
| 1941–1942 | TH Berlin |
| 1945–1949 | TH Hannover |
| 1952 | Dr.-Ing. TH Hannover |
| 1949–1962 | Siemens AG in Essen und Erlangen |
| 1959–1962 | Lehrbeauftragter an der Bergakademie Clausthal für die Fächer Elektrotechnik im Bergbau und im Hüttenwesen |
| 1962 | o. Professor Bergakademie Clausthal
Direktor des Instituts für Elektrotechnik |
| Publikationen: | Zu den Themenkreisen Lichtbogen-Öfen (20),
Der Ingenieur in Ausbildung und Beruf (6), Elektrische Antriebe (4), Elektromagnetische Schwinger (1), Energieprobleme (3)
Bücher: Handbuch der Regelungstechnik
G. Bleisteiner und W. v. Mangoldt, Springer Verlag 1961
Kap. 41, Walzstraßen von K. Bretthauer und G. Stepken
Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbauer
„Elektrotechnik“ von K. Bretthauer |
| Mitglied: | Deutsche Kommission für Elektrowärme der Union Internationale d'Electrothermie
Kommission „Industrielle Elektrowärme“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission
Unterkommission für „Lichtbogenöfen und ESU-Anlagen“
Arbeitskreis „Plasma-Öfen“ |
| 1985 | Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft |

in die Klasse für Bauwissenschaften

Natke, Hans-Günther, Dr. rer. nat., o. Professor und Direktor des Curt-Risch-Institutes für Dynamik, Schall- und Meßtechnik der TU Hannover, Pyrmonter Straße 51, 3000 Hannover 91

- | | |
|-----------|-------------------------------|
| geboren: | 9. 5. 1933 in Elbing/Ostprien |
| 1939–1952 | Volksschule, Oberschule |
| 1952 | Abitur |
| 1953–1958 | TH Hannover |

- 1958 Diplom-Mathematiker
 1968 Dr. rer. nat. TH München
 1971 Habilitation für das Fachgebiet Aeroelastik, TU Berlin, Fachbereich Verkehrswesen
 1958 Wiss. Angestellter des Amtes für Bodenforschung Hannover
 1959–1976 Techn. Angestellter der Vereinigten Flugtechnischen Werke Fokker GmbH., Bremen
 1972–1976 Lehrbefugnis für das Fachgebiet „Aeroelastik“, TU Berlin
 1976 o. Professor und Direktor des Curt-Risch-Institutes TU Hannover
 Publikationen: Über 40 Veröffentlichungen, u. a.
 H. G. N., Editor: Identification of Vibrating Structures; CISM Courses and Lectures Nr. 272, Springer-Verlag Wien, New York 1982
 H. G. N. Einführung in Theorie und Praxis der Zeitreihen- und Modalanalyse; Vieweg Braunschweig, Wiesbaden 1983
 Herausgabe: Member of Editorial Board of the International Journal „Probabilistic Engineering Mechanics“
 Mitglied:
 1982 Fachbeirat Schwingungstechnik der VDI-Gesellschaft Konstruktion und Entwicklung
 1985 Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Stracke, Ferdinand, Dipl.-Ing., o. Professor und Direktor des Institutes für Städtebau, Wohnungswesen und Landschaftsplanung, Wendentorwall 10, 3300 Braunschweig

- geboren: 27. 5. 1935 in Eslohe/Sauerland
 Staatliche Ingenieurschule Hagen/Westfalen
 1957 Ing. grad.
 1957–1963 TH Darmstadt, TU Berlin
 1963 Dipl.-Ing.
 1964–1966 Wiss. Assistent TH Darmstadt, Lehrstuhl für Städtebau und Wohnungswesen
 1966–1975 Büro Guthert und Stracke, Darmstadt
 1975 o. Professor TH Braunschweig, Direktor des Institutes für Städtebau, Wohnungswesen und Landschaftsplanung
 ab 1975 freiberufliche Tätigkeit Büro Stracke und Partner, Braunschweig/Bonn
 Publikationen: u. a.
 Bonn-Tannenbusch-Buschdorf – ein neuer Stadtteil (Stadtbauwelt 1973)
 Neue Siedlung, Neue Heimat (Neue Heimat 1974)
 Der städtebauliche Aspekt zukünftigen Wohnungsbaus (Architekten 1976)
 Stadtentwicklung zwischen Politik und Fachplanung (Inst. f. Komm. Wissenschaft [Konrad-Adenauer-Stiftung] 1977)
 Kurskorrektur (Mitteilungen TU Carolo Wilhelmina BS 1978)
 Stadthaus („bauen“ 1979)
 Innovation (Neue Heimat 1980)
 Tradition und Evolution im Städtebau (Ms 1984)

Mitglied:

- 1968 Deutsche Akademie für Städtebau und Landesplanung Arbeitskreis Bundes-
hauptstadt Bonn
- 1985 Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Weimann, Günter, Dr.-Ing., o. Professor und Direktor des Instituts für Photogrammetrie und Kartographie an der TU Braunschweig, Klaus-Groth-Weg 30, 3340 Wolfenbüttel

geboren: 6. 6. 1921 in Berlin

- 1937 Oberrealschule (Obersekunda)
- 1937–1939 Vermessungstechnikerlehrling
- 1939–1940 Fachschulstudium; Ing. für Vermessungstechnik
- 1941–1945 Kriegsdienst
- 1946–1951 TU Berlin; Dipl.-Ing.
- 1951–1955 Wiss. Mitarbeiter Fa. Carl Zeiss, Oberkochen
- 1959–1969 Assistent, Obering. TU Berlin
- 1965 Dr.-Ing.
- 1969–1975 Privatdozent, Wiss. Rat und Professor, Professor TU Berlin
- 1975 o. Professor, TU Braunschweig

Publikationen: Untersuchungen zur photogrammetrischen Höhenbestimmung aus Radial-
abständen, Diss. TU Berlin (1965)

Methoden und Probleme der photogrammetrischen Auswertung von Elek-
tronen- und Raster-Elektronenmikroskop-Aufnahmen, AVN 1970

Bildmessung mit Präzisionstheodoliten, Habilitationsschrift TU Berlin 1970

Geometrische Grundlagen der Luftbildinterpretation, Sammlung Wichmann,
Bd. 17, 1984

- Mitglied:** Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der
Wissenschaften
- 1985 Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Zu korrespondierenden Mitgliedern wurden am 15. 3. 1985 gewählt

in die Klasse für Ingenieurwissenschaften

Beneking, Heinz, Dr. rer. nat., o. Professor und Direktor des Instituts für Halbleitertechnik an der TH Aachen

- 1984 Carl-Friedrich-Gauß-Medaille der Braunschweigischen Wissenschaftlichen
Gesellschaft
- (Siehe Jahrbuch 1984, S. 111)

in die Klasse für Geisteswissenschaften

Beumann, Helmut, Dr. phil., o. Professor em. für Mittelalterliche Geschichte an der Universität Marburg, Am Glaskopf 7, 3350 Marburg/Lahn

Zu ordentlichen Mitgliedern wurden am 13. 12. 1985 gewählt

in die Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik

Willerding, Ulrich, Dr. rer. nat., apl. Professor für Botanik an der Universität Göttingen, Calsowstraße 60, 3400 Göttingen

geboren: 8. 7. 1932 in Querfurt

Grundschule Querfurt, Latina Halle (Saale)
 1952 Abitur Staatl. Humanistisches Gymnasium Köln-Mülheim
 1952–1955 Studium der Biologie, Chemie und Geographie Universität Göttingen
 1955–1959 Universität Tübingen
 1958 Staatsexamen
 1959 Dr. rer. nat.
 1960–1969 Schuldienst
 1971 Habilitation für Botanik Universität Göttingen
 1976 apl. Professor
 Publikationen: 67 Abhandlungen, u. a.
 1960 Beiträge zur jüngeren Geschichte der Flora und Vegetation der Flußauen
 1969 Ursprung und Entwicklung der Kulturpflanzen in vor- und frühgeschichtlicher Zeit, Deutsche Agrargeschichte, Bd. 1
 1978 Die Paläo-Ethnobotanik und ihre Stellung im System der Wissenschaften
 Herausgabe: gemeinsam mit K. E. Behre und H. Lorenzen:
 Beiträge zur Paläo-Ethnobotanik Europas (1978)
 Mitglied:
 1977–1983 Fachkommission des Niedersächsischen Kultusministeriums zur Erstellung der Rahmenrichtlinien für Biologie in der Gymnasialen Oberstufe
 1985 Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

in die Klasse für Ingenieurwissenschaften

Schwerdtfeger, Klaus, Dr.-Ing., o. Professor und Direktor des Instituts für allgemeine Metallurgie, Claustorwall 10, 3380 Goslar

geboren: 16. 9. 1934 in Rostock

Bürgerschule in Eberswalde, Pädagogium Bad Sachsa
 1954 Abitur Oberschule Osterode
 1954–1959 Studium der Eisenhüttenkunde Bergakademie Clausthal, Studium der Metallkunde TH Stuttgart
 1959 Dipl.-Ing. der Eisenhüttenkunde, Bergakademie Clausthal
 1959–1963 Assistent am Max-Planck-Institut für Eisenforschung Düsseldorf
 1962 Dr.-Ing. Clausthal
 1963–1964 Research-Associate am Metallurgy Department der Pennsylvania State University, USA
 1964–1967 Scientist am E. C. Bain Laboratory for Fundamental Research der U.S. Steel Corporation, Monroeville, Pa. USA
 1967–1971 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Mannesmann Forschungsinstitut in Duisburg

1969	Habilitation für Theoretische Hüttenkunde, TU Clausthal
1972–1974	Abteilungsleiter am Max-Planck-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf
1974–1980	Direktor und wissenschaftliches Mitglied am Max-Planck-Institut für Eisenforschung, Düsseldorf
1980	o. Professor TU Clausthal
Publikationen:	Ca. 100 Abhandlungen in verschiedenen Fachzeitschriften
Mitglied:	Europäische Gemeinschaft für Kohle und Stahl, Präsident des Exekutiv-ausschusses Gießen und Erstarren Centro Sperimentale Metallurgico, Rom, Mitglied im Scientific Panel des Instituts
1985	Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Marx, Claus, Dr.-Ing., o. Professor für Tiefbohrkunde und Erdölgewinnung an der Technischen Universität Clausthal, Institut für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung, Agricolastraße 10, 3392 Clausthal-Zellerfeld

geboren:	21. 8. 1931 in Celle
1938–1942	Volksschule in Münster/Westf. und Celle
1942–1951	Hermann-Billing-Schule, Celle
1951	Abitur
1951–1956	Studium des Maschinenbaus TH Hannover
1956	Diplom-Ingenieur
1973	Dr.-Ing., TU Clausthal
1956–1959	Testingenieur Fa. Schlumberger-Verfahren
1958	Leiter der Testabteilung in Deutschland
1959–1964	Lagerstätteningenieur Fa. Wintershall AG, Erdölwerke Barnstorf
1964–1975	Technischer Leiter Fa. Christensen Diamond Products GmbH in Celle
1975	o. Professor TU Clausthal
Publikationen:	Zahlreiche Beiträge in Büchern und Fachzeitschriften, u. a. Stand der Technologie im Diamantbohren, EEZ 12 (1965), S. 496–509 Über die Gesteinszerstörung in großer Teufe beim drehenden Bohren, EEZ (1967), S. 354–363 Neue Aufgaben der Erdölindustrie in den achtziger Jahren, EEZ (1982), S. 387–291 Zeitschrift Erdöl-Erdgas, Urban Verlag Hamburg/Wien 1976
Mitglied:	
1974–1980	Bundesministerium für Forschung und Technologie Sachverständigenkreis für Energieforschung
1980	Interministerieller Ausschuß zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung im Lande Niedersachsen
1984	DFG, Gutachter für „Bergwesen“, „Aufbereitung“, „Tiefbohrtechnik“ und „Markscheidekunde“ Ferner Mitglied in mehreren nationalen und internationalen Gremien
1985	Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Leschonski, Kurt, Dr.-Ing., o. Professor für Mechanische Verfahrenstechnik der Technischen Universität Clausthal, Am Dammgraben 20, 3392 Clausthal-Zellerfeld

- geboren: 17.12.1930 in Düsseldorf
- 1937–1941 Volksschule Mannheim-Luzenberg
- 1941–1951 Tulla-Real-Gymnasium, Mannheim
- 1951 Abitur
- 1952–1957 Studium des Maschinenbaus, TH Braunschweig
- 1957 Diplom-Ingenieur
- 1957–1965 Wiss. Assistent TH Karlsruhe
- 1965 Promotion zum Dr.-Ing.
- 1965–1968 Oberingenieur TH Karlsruhe
- 1968–1969 Visiting Reader, University of Technology, Loughborough
- 1969–1971 Oberingenieur TH Karlsruhe
- 1971 Ruf als Professor (C 3) für Mechanische Verfahrenstechnik, TU Clausthal
- 1973 o. Prof. für Mechanische Verfahrenstechnik TU Clausthal
- Publikationen: ca. 100 Veröffentlichungen, u. a.
- K. Leschonski, F. T. C. Carter: Wörterbuch der Mechanischen Verfahrenstechnik, Englisch–Deutsch, Deutsch–Englisch. Elsevier Scientific Publ. Amsterdam 1978
- K. Leschonski: Classification of Particles in Gases. IFPRI-Report 1981
- K. Leschonski: Die Messung von Partikel- und Porengrößenverteilungen sowie von spezifischen Oberflächen. Ullmanns Enzyklopädie, Band V., Verlag Chemie GmbH., Weinheim 1980, pp. 725–753
- K. Leschonski u. a.: Grundzüge der mechanischen Verfahrenstechnik, Carl Hauser Verlag, München, Wien 1984, pp. 29–138
- Mitglied:
- 1985 Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

in die Klasse für Geisteswissenschaften

Oexle, Otto Gerhard, Dr. phil., o. Professor für Geschichte an der Universität Hannover, Wiesenstraße 13, 3000 Hannover 1

- geboren: 28.8.1939 in Singen a. Htwl.
- 1958 Abitur, Singen a. Htwl.
- 1958–1965 Studium der Romanistik und Geschichte, Germanistik und Philosophie, Freiburg/Brsg., Köln, Poitiers
- 1965 Dr. phil. Freiburg/Brsg.
- 1965 Wiss. Prüfung für das Lehramt an Gymnasien
- 1965–1973 Wiss. Assistent am Historischen Seminar Universität Münster
- 1973 Habilitation für Mittelalterliche Geschichte, Münster
- 1973 Dozent Universität Münster
- 1975 Wiss. Rat und Professor Universität Münster
- 1975 Gastprofessor am Institut für Deutsche Geschichte, Tel Aviv Universität (Israel)
- 1980 C 4-Prof. Universität Hannover

- Publikationen:** Etwa 40 Veröffentlichungen in mehreren wissenschaftlichen Zeitschriften
- Mitglied:**
- 1982 Reformkommission Geschichte des Wissenschaftsrates und der Kultusministerkonferenz
 - 1984 DFG-Fachgutachter
 - 1985 Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Thies, Harmen, Dipl.-Ing., Dr. phil., Professor für Baugeschichte an der Technischen Universität Braunschweig, Adolfstraße 55, 3300 Braunschweig

- geboren:** 26.12.1941 in Buxtehude
- Abitur am Christianeum in Hamburg
 - Studium der Architektur, TH Braunschweig
 - 1970 Diplom-Ingenieur, TH Braunschweig
 - Studium der Kunstgeschichte, TH Braunschweig
 - 1976 Promotion
 - 1970–1971 Assistent am Lehrstuhl für Baugeschichte (Prof. Konrad Hecht)
 - 1971–1976 Assistent am Lehrstuhl für Kunstgeschichte (Prof. Martin Gosebruch)
 - 1977 Volontär am Annenmuseum in Lübeck
 - 1977–1981 Assistent am Kunsthistorischen Institut in Florenz
 - 1981–1983 Lehrkraft für besondere Aufgaben in Würzburg
 - 1983 C 3-Professor für Baugeschichte, TU Braunschweig
- Publikationen:** Grundrißfiguren Balthasar Neumanns, Florenz 1980
Michelangelo – Das Kapitol, München 1982
- Mitglied:** Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft
- 1985 Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Zu korrespondierenden Mitgliedern wurden am 13.12.1985 gewählt
in die Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik

Ertl, Gerhard, Dr. rer. nat., o. Professor für Physikalische Chemie an der Universität München

- 1985 Carl-Friedrich-Gauß-Medaille der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Hengge, Edwin, Dr. techn., o. Professor für Anorganische und Analytische Chemie der Technischen Universität Graz, Ziegelstraße 9z, A-8045 Graz/Österreich

Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille

- 1949 *Walter Reppe* †, Dr. phil., Dr. phil. nat. h. c., Dr.-Ing. E. h., Hon.-Professor der Universität Mainz und Technischen Hochschule Darmstadt.
- 1950 *Arvid Hedvall* †, fil. dr., Dr. phil., h. c., Dr.-Ing. h. c., Dr. sc., Dr.-Ing. E. h., o. Professor em. für Silikatchemie der Technischen Hochschule Göteborg.
- 1951 *Wilhelm Nusselt* †, Dr.-Ing. E. h., o. Professor em. für Theor. Maschinenlehre an der Technischen Hochschule München.
- 1952 *Erwin W. Müller*, Dr.-Ing. habil., Dr. rer. nat. h. c., Dr. h. c., Evan-Pugh Res. Prof., Pennsylvania State University, Physics Dept., University Park, Pennsylvania, USA.
- 1953 *Gustav Wolf* †, Dr.-Ing. E. h., Professor in Münster (Westf.).
- 1954 *Max Strutt*, Dr. techn., Dr.-Ing. E. h., o. Professor und Direktor des Instituts für Höhere Elektrotechnik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich.
- 1955 *Fritz Arndt* †, Dr. phil., Dr. rer. nat. h. c., o. Professor em. für Organische Chemie an der Universität Breslau, Honorarprofessor an der Universität Hamburg.
- 1955 *Pascual Jordan* †, Dr. phil., o. Professor für Theoretische Physik an der Universität Hamburg.
- 1956 *Ulrich Finsterwalder*, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., München.
- 1957 *Georg Sachs* †, Dr.-Ing., zuletzt o. Professor für Metallurgie an der Syracuse University, Syracuse, N. Y.
- 1958 *Werner Schmeidler* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., o. Professor em. für Mathematik an der Technischen Universität Berlin.
- 1959 *Hans Brockmann*, Dr. sc. nat. habil., o. Professor für Organische Chemie an der Universität Göttingen.
- 1960 *Theodor von Kármán* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., Dr. rer. nat. h. c., LL. D., Professor, California Institute of Technology Pasadena (Calif.).
- 1961 *Kurt Paul Klöppel* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Statik und Stahlbau an der Technischen Hochschule Darmstadt.
- 1962 *Walter Schottky* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., Dr. rer. nat. h. c., o. Professor em. für Theoretische Physik an der Universität Erlangen.
- 1963 *Gottfried Köthe*, Dr. phil., o. Professor für Angewandte Mathematik an der Universität Heidelberg.
- 1964 *Carl Wagner* †, Dr. phil., Dr. rer. nat. h. c., o. Professor und Direktor des Max-Planck-Instituts für Physikalische Chemie in Göttingen.

- 1965 *Albert Betz* †, Dipl.-Ing., Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., Dr. Sc. techn. h. c., o. Professor em. und vormals Direktor der Aerodynamischen Versuchsanstalt und des Max-Planck-Instituts für Strömungsforschung in Göttingen.
- 1966 *Wilhelm Becker*, Dr. phil., o. Professor und Direktor der Astronomisch-Meteorologischen Anstalt der Universität Basel.
- 1967 *Henry Görtler*, Dr. phil. habil., LL. D. h. c. emer. Professor der Mathematik und vormals Direktor des Instituts für Angewandte Mathematik der Albert-Ludwig-Universität Freiburg i. Br., Vizepräsident und vormals Präsident der Internationalen Union für Theoretische und Angewandte Mechanik (IUTAM).
- 1968 *Egon Orowan*, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Mechanical Engineering am Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- 1969 *E. Arne Bjerhammer*, Tekn. D. Professor für Geodäsie an der Kungl. Tekniska Högskolan in Stockholm.
- 1970 *Elie Carafoli* †, Dr. rer. nat., Professor für Aero-Gas-Dynamik, Lehrstuhlleiter an dem Polytechnischen Institut Bukarest, Direktor des Instituts de Mécanique des Fluides „Traian Vuia“ in Bukarest/Rumänien.
- 1971 *Walter Dieminger*, Dr. rer. techn., apl. Professor für Geophysik an der Universität Göttingen, Direktor des Max-Planck-Instituts für Aeronomie in Lindau/Harz.
- 1972 *Hubert Rüsch* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., em. Professor für Massivbau an der Technischen Hochschule München und Direktor des Amtlichen Materialprüfungsamtes für das Bauwesen.
- 1973 *Viktor Gutmann*, Dr. techn., Ph. D., Sc. D., Dr. h. c., o. Prof., Vorstand des Instituts für Anorganische und Allgemeine Chemie der Techn. Universität Wien.
- 1974 *Friedrich Tamms* †, Dipl.-Ing., Prof. Dr. h. c., Beigeordneter der Stadt Düsseldorf (Stadtbaurat i. R.), Freischaffender Planer.
- 1975 *Sir Michael James Lighthill*, Lucasian Professor B. A., F. R. S., der Mathematik an der Universität Cambridge/England.
- 1977 *Walter Maurice Elsasser*, Dr. phil., o. Prof. für Geophysik, Department of Earth and Planetary Sciences, The Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland 21218/USA.
- 1977 *Helmuth Moritz*, Dr. techn., Dr. h. c., o. Professor, Institut für Erdmessung und Physikalische Geodäsie an der Technischen Hochschule Graz, Steyrergasse 17, A-8010 Graz.
- 1977 *László Fejes Tóth*, Dr., Professor und Direktor des Mathematischen Forschungsinstituts der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Reáltanoda U. 13–15, Budapest V/Ungarn.
- 1978 *Ulrich Grigull*, Dr.-Ing., o. Prof. für Thermodynamik an der Technischen Universität München, Arcisstraße 2, 8000 München

- 1979 *Wolf Freiherr von Engelhardt*, Dr. phil., Prof. (em.) für Mineralogie und Petrographie an der Universität Tübingen, Wilhelmstraße 56, 7400 Tübingen
- 1980 *Hans Kuhn*, Dr. phil., Dr. rer. nat. h. c., Professor, Mitglied des Kollegiums des Max-Planck-Institutes für Biophysikalische Chemie (Leiter der Abteilung „Molekularer Systemaufbau“), Am Faßberg, 3400 Göttingen-Nikolausberg
- 1981 *Martin Kneser*, Dr. rer. nat., o. Prof. der Mathematik an der Universität Göttingen, Guldenhagen 5, 3400 Göttingen.
- 1982 *Walter Burkert*, Dr. phil., o. Prof. für Klassische Philologie an der Universität Zürich, Wildbergstraße 8, CH-8610 Uster/Zürich.
- 1983 *Leopold Müller*, Dr. techn., Dr. mont. h. c., Honorar-Professor an der Universität Salzburg (Felsbaumechanik), Paracelsusstraße 2, A-5020 Salzburg/Österreich.
- 1984 *Heinz Beneking*, Dr. rer. nat., o. Prof. u. Dir. des Instituts für Halbleitertechnik der Technischen Universität Aachen, Templergraben 15, 5100 Aachen.
- 1985 *Gerhard Ertl*, Dr. rer. nat., o. Prof. für Physikalische Chemie an der Universität München, Sophienstraße 11, 8000 München 2.

Mitgliederverzeichnis

(Stand 31.12.1985)

Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Fallersleber-Tor-Wall 16, 3300 Braunschweig

Telefon: (05 31) 391-4596

Präsident: Prof. Dr. rer. techn. Karl Heinrich Olsen
(bis 31.12.1986)

Generalsekretär: Prof. Dr. rer. nat. Hans-Joachim Kanold
(bis 31.12.1985)

Geschäftsstelle: Frau Ilsabe Schulte-Lüer (allg. Geschäftsverkehr)
Frau Hannelore Haubold (Haushalt)

Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Otto K. Rosenbach (bis 31.12.1988)

Ordentliche Mitglieder:

- Becker, Gerhard (21.12.1916), Dr. rer. nat., Dr.-Ing. h. c., Ltd. Dir. u. Prof. i. R. (Physik, PTB Braunschweig), Dießelhorststraße 32, 3300 Braunschweig
- Bogen, Hans Joachim (19.11.1912), Dr. rer. nat., Prof. em. (Botanik, TU Braunschweig), Wendentorwall 15B, 3300 Braunschweig
- Brehler, Bruno (25.12.1922), Dr. rer. nat., Prof. (Mineralogie und Kristallographie, TU Clausthal), Am Turmhof 6, 3393 Clausthal-Zellerfeld
- Cramer, Friedrich (20.9.1923), Dr. rer. nat., Prof. u. Dir. (Organische Chemie, MPI für Experimentelle Medizin, Göttingen), Hermann-Rein-Straße 3, 3400 Göttingen
- Dieminger, Walter (7.7.1907), Dr. rer. nat., Prof. (Aeronomie, MPI für Aeronomie, Lindau), Berliner Straße 14, 3412 Nörten-Hardenberg 1
- Grütmacher, Martin (10.11.1901), Dr. phil. habil., Ltd. Dir. a. D. u. Honorar-Prof. (Akustik, PTB Braunschweig), Sulzbacher Straße 36, 3300 Braunschweig
- Gundermann, Karl-Dietrich (20.2.1922), Dr. rer. nat., Prof. (Organ. Chemie, TU Clausthal), Birckenbachstraße 2, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Hartmann, Hellmut (20.8.1895), Dr.-Ing., Prof. em. (Anorganische Chemie, TU Braunschweig), Stadeweg 1, 3000 Braunschweig
- Hartmann, Thomas (2.2.1937), Dr. rer. nat., Prof. (Pharmazeutische Biologie, TU Braunschweig), Walter-Hans-Schultze-Straße 21, 3300 Braunschweig
- Haul, Robert (31.5.1912), Dr.-Ing. habil., Prof. em. (Physikalische Chemie, Universität Hannover), Schellingstraße 5, 3000 Hannover 61

- Henze, Ernst (17.8.1927), Dr. rer. nat., Prof. (Mathematik, TU Braunschweig), Wichernstraße 39, 3340 Wolfenbüttel
- Hövermann, Jürgen (15.3.1922), Dr. rer. nat., Prof. (Geographie, Universität Göttingen), Nelkenstraße 10, 3410 Northeim-Hillerse
- Hopf, Henning (13.12.1940), Dr. phil., Prof. (Organische Chemie, TU Braunschweig), An der Paulikirche 5, 3300 Braunschweig
- Kanold, Hans-Joachim (29.7.1914), Dr. rer. nat. habil., Prof. em. (Mathematik, TU Braunschweig), Gildenstraße 41, 3300 Braunschweig
- Kersten, Martin (28.4.1906), Dr.-Ing., Honorar-Prof. u. Präs. i. R. (Physik, PTB Braunschweig), Am Hohen Tore 4A, 3300 Braunschweig
- Kertz, Walter (29.2.1924), Dr. rer. nat., Prof. (Geophysik und Meteorologie, TU Braunschweig), Pestalozzistraße 2, 3300 Braunschweig
- Keßler, Franz Rudolf (11.8.1927), Dr. phil., Prof. (Physik, TU Braunschweig), Am Walde 42, 3300 Braunschweig
- Kowalsky, Hans-Joachim (16.7.1921), Dr. rer. nat., Prof. (Mathematik, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 20, 3340 Wolfenbüttel
- Kroepelin, Hans (28.12.1901), Dr. phil., Prof. em. (Chemische Technologie, TU Braunschweig), Hermann Riegel-Straße 12, 3300 Braunschweig
- Maaß, Günter (7.1.1934), Dr. rer. nat., Prof. (Biophysikalische Chemie, Med. Hochschule Hannover), Im Eichholz 27, 3000 Hannover 51
- Müller, Georg (1.10.1930), Dr. rer. nat., Prof. (Mineralogie und Petrographie, TU Clausthal), Einersberger Blick 27, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Müller, Hans Roberg (26.10.1911), Dr. phil., Prof. em. (Mathematik, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 49, 3340 Wolfenbüttel
- Pilger, Andreas (19.12.1910), Dr. phil. habil., Prof. em. (Geologie und Paläontologie, TU Clausthal), Berliner Straße 125, 3391 Clausthal-Zellerfeld
- Poser, Hans (13.3.1907), Dr. phil., Prof. em. (Geographie, Universität Göttingen), Ernst-Curtius-Weg 5, 3400 Göttingen
- Richter, Egon (24.3.1928), Dr. rer. nat., Prof. (Theoretische Physik, TU Braunschweig), Sommerlust 33, 3300 Braunschweig
- Röhrs, Manfred (22.9.1927), Dr. rer. nat., Prof. (Zoologie, Universität Hannover), Im Dorffeld 43, 3005 Hemmingen
- Rohdenburg, Heinrich (27.1.1937), Dr. rer. nat., Prof. (Physische Geographie und Landschaftsökologie, TU Braunschweig), Brockenblick 8, 3302 Cremlingen-Destedt
- Rosenbach, Otto K. (25.9.1914), Dr.-Ing., Prof. em. (Geophysik, TU Clausthal), Hopfengarten 40, 3388 Bad Harzburg 1
- Schottlaender, Stefan (15.1.1928), Dr. rer. nat., Prof. (Mathematik, TU Clausthal), Glückauf-Weg 8, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Schumann, Hilmar (8.11.1902), Dr. phil. habil., Prof. em. (Mineralogie, TU Braunschweig), Eitelbrodstraße 3a, 3300 Braunschweig
- Schwink, Christoph (20.3.1928), Dr. rer. nat., Prof. (Physik, TU Braunschweig), Spitzwegstraße 21, 3300 Braunschweig

- Steudel, Andreas (17.2.1925), Dr. rer. nat., Prof. (Experimental-Physik, Universität Hannover), Hahnensteg 41 C, 3000 Hannover 91
- Tietz, Horst (11.3.1921), Dr. phil., Prof. (Mathematik, Universität Hannover), Rödinger Straße 31, 3008 Garbsen
- Wannagat, Ulrich (31.5.1923), Dr. rer. nat., Dr. techn. h.c., Prof. (Anorganische Chemie, TU Braunschweig), Antoinettenweg 9, 3340 Wolfenbüttel
- Welling, Herbert (1.9.1929), Dr. rer. nat., Prof. (Physik, Universität Hannover), Nogatweg 13, 3004 Isernhagen
- Willerdig, Ulrich (8.7.1932), Dr. rer. nat., Prof. (Botanik, Universität Göttingen), Calsowstraße 60, 3400 Göttingen
- Winterfeldt, Ekkehard (13.5.1932), Dr. rer. nat., Prof. (Organische Chemie, Universität Hannover), Sieversdamm 34, 3004 Isernhagen 2
- Zinner, Gerwalt (30.9.1924), Dr. phil., Prof. (Pharm. Chemie, TU Braunschweig), Am Papenholz 14, 3300 Braunschweig

Korrespondierende Mitglieder:

- Bartels, Heinz, Dr. med., Prof. (Vegetative Physiologie, Medizinische Hochschule Hannover), Meitnerstraße 4, 3000 Hannover 61
- Becker, Wilhelm, Dr. phil., Dr. h.c. mult., Prof. (Astronomie), Venusstraße 7, CH-4102 Binningen ü. Basel/Schweiz
- Cailleux, André-Paul, Dr. h.c., Prof. (Geologie u. Phys. Geographie), 9. Avenue de la Trémouille, 94100 Saint-Maur-des-Fosses/Frankreich
- Elsasser, Walter M., Dr. phil., Prof. (Physik), Department of Earth and Planetary Sciences, The Hopkins University Baltimore, Maryland 21218/USA
- Engelhardt, Wolf, Freiherr von, Dr. phil., Prof. em. (Mineralogie und Petrographie), Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität Tübingen, Wilhelmstraße 56, 7400 Tübingen 1
- Ertl, Gerhard, Dr. rer. nat., Prof., Agnesstraße 40, 8000 München 40
- Gutmann, Viktor, Dr. techn., Ph. D., Sc. D., Dr. h.c. (Budapest), Dr. h.c. (Toruń), Prof. (Chemie), Getreidemarkt 9, A-1060 Wien/Österreich, Techn. Hochschule Wien, Institut für Anorganische Chemie
- Henge, Edwin Franz Kurt, Dr. techn., Prof. (Anorganische Chemie, Technische Universität Graz), Ziegelstraße 9z, A-8045 Graz/Österreich
- Inhoffen, Hans Herloff, Dr. phil., Dr. med. h.c., Prof. em. (Organische Chemie, TU Braunschweig), Lorettostieg 34a, 7750 Konstanz
- Kaluza, Theodor, Dr. rer. nat., Prof. (Mathematik), Nötelweg 4, 3000 Hannover 91
- Kippenhahn, Rudolf, Dr. rer. nat., Dir. u. Prof. (Astrophysik), Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik, Institut für Astrophysik, Forschungsgelände, 8046 Garching
- Kneser, Martin, Dr. rer. nat., Prof. (Mathematik), Guldenhagen 5, 3400 Göttingen
- Köthe, Gottfried, Dr. phil., Dr. h.c. mult., Prof. em. (Mathematik), Parkstraße 14, 6000 Frankfurt/Main 1

- Kreutzkamp, Norbert, Dr. phil., Prof. (Pharm. Chemie), Laufgraben 28, 2000 Hamburg 13, Universität Hamburg
- Kuhn, Hans, Dr. phil., Prof. (Biophysikalische Chemie), Max-Planck-Institut für biophysische Chemie Göttingen, Zur Akelei 21, 3400 Göttingen-Nikolausberg
- Lochte-Holtgreven, Walter, Dr. phil. habil., Prof. (Physik), Olshausenstraße 40–60, 23 Kiel, Neue Universität
- Mensching, Horst, Dr. rer. nat., Prof. (Geographie), Bundesstraße 55, 2000 Hamburg 13, Institut für Geographie der Universität Hamburg
- Schaller, Friedrich, Dr. rer. nat., Prof. (Zoologie), Dr.-Karl-Lueger-Ring 1A, A-1010 Wien/Österreich
- Schmitz, Rudolf, Dr. phil., Prof. (Geschichte und Pharmazie), Philipps-Universität, Fhr.-vom-Stein-Straße 2, 6349 Mittenaar-Bicken
- Schumacher, Hans J., Dr. phil., Dr. h.c., Prof. (Phys. Chemie), Universidad Nacional de la Plata, Instituto de Investigaciones Fisicoquimicas, Sucursal 4 – Cas. de Corres 16 – La Plata/Argentinien
- Tóth, Laszló Fejes, Dr., Prof. (Mathematik), Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences Realtanoda U.13–15, Budapest V., Ungarn
- Unsöld, Albrecht, Dr. phil., Dr. rer. nat. h.c., Dr. rer. nat., D. Sc. h.c. (Theoretische Physik und Astronomie), Olshausenstraße, 2300 Kiel, Neue Universität, Haus 13
- Voronkov, Michael Gregor, Dr. rer. nat., Dr. h.c., Dir. u. Prof. (Chemie), 1 Favorsky Street, 664033 Irkutsk/UdSSR, Siberian Division of the Academy of Sciences of the USSR, Inst. of Organic Chemistry

Klasse für Ingenieurwissenschaften

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Rudolf Jeschar (bis 31.12.1987)

Ordentliche Mitglieder:

- Baehr, Hans Dieter (24.6.1928), Dr.-Ing., Prof. Dr. E.h. (Thermodynamik, Universität Hannover), Max-Eyth-Straße 54, 3000 Hannover
- Bammert, Karl (13.2.1908), Dr.-Ing., Prof. em. (Strömungsmechanik, Universität Hannover), Alleestraße 3, 3000 Hannover 1
- Batel, Wilhelm (3.11.1922), Dr.-Ing., Prof. u. Dir. (Verfahrenstechnik, FAL Braunschweig), Peter-Joseph-Krahe-Straße 8, 3300 Braunschweig
- Blenk, Hermann (9.12.1901), Dr. phil., Prof. em. (Flugmechanik, TU Braunschweig), Margaretenhöhe 32, 3300 Braunschweig
- Bohnet, Matthias (20.7.1933), Dr.-Ing., o. Prof. u. Dir. (Verfahrens- und Kerntechnik, TU Braunschweig), Otto-Hahn-Straße 45, 3300 Braunschweig
- Bretthauer, Karlheinz (5.3.1922), Dr.-Ing., Prof. u. Dir. (Elektrische Energietechnik, TU Clausthal), Berliner Straße 45, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Dizioğlu, Bekir (13.12.1920), Dr.-Ing., Prof. (Getriebelehre und Maschinendynamik, TU Braunschweig), Marienburgweg 36, 3340 Wolfenbüttel
- Erdmann-Jesnitzer, Friedrich (3.5.1912), Dr.-Ing. habil., Dr. ir. h.c., Prof. em. (Werkstoffkunde, Universität Hannover), Im Dorffeld 66, 3005 Hemmingen 1

- Funke, Paul (5. 2. 1930), Dr.-Ing., Prof. (Werkstoffumformung, TU Clausthal), Schulstraße 15, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Groth, Klaus (8. 12. 1923), Dr.-Ing., Prof. (Kolbenmaschinen, Universität Hannover), Holzwiesen 4, 3005 Hemmingen-Westerfeld
- Hennicke, Hans Walter (22. 1. 1927), Dr. rer. nat., Prof. (Keramik und Email, TU Clausthal), Am Turmhof 9, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Jeschar, Rudolf (17. 6. 1930), Dr.-Ing., Prof. (Energieanlagentechnik, TU Clausthal), Agricolastraße 4, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Justi, Eduard (30. 5. 1904), Dr. phil. habil., Prof. (Technische Physik, TU Braunschweig), Am Rübenberg 8, 3300 Braunschweig
- Kind, Dieter (5. 10. 1929), Dr.-Ing., Honorar-Prof. u. Präsident der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (Hochspannungstechnik), Knappestraße 4, 3300 Braunschweig
- Koeßler, Paul (19. 6. 1896), Dr.-Ing., Prof. em. (Fahrzeugtechnik, TU Braunschweig), Bauhofstraße 38, 8221 Inzell
- Lautz, Günter (15. 11. 1923), Dr. rer. nat., Prof. (Elektrophysik, TU Braunschweig), Fallsteinweg 97, 3340 Wolfenbüttel
- Leonhard, Werner (25. 5. 1926), Dr.-Ing., Prof. (Regelungstechnik, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 32, 3340 Wolfenbüttel
- Leschonski, Kurt (17. 12. 1930), Dr.-Ing., Prof. u. Rektor (Mechanische Verfahrenstechnik, TU Clausthal), Am Dammgraben 20, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Mahrenholtz, Oskar (17. 5. 1931), Dr.-Ing., Prof. (Mechanik, Universität Hannover), Eißendorfer Winkel 9, 2100 Hamburg 90
- Marx, Claus (21. 8. 1931), Dr.-Ing., Prof. (Tiefbohrkunde und Erdölgewinnung, TU Clausthal), Mörlinsstraße 5D, 3000 Hannover 72
- Matthies, Hans Jürgen (6. 11. 1921), Dr.-Ing., Prof. (Landmaschinen, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 15, 3300 Braunschweig
- Mitschke, Manfred (5. 5. 1929), Dr.-Ing., Prof. (Fahrzeugtechnik, TU Braunschweig), Alter Rautheimer Weg 38, 3300 Braunschweig
- Musmann, Hans Georg (14. 8. 1935), Dr.-Ing., Prof. (Nachrichtentechnik, Universität Hannover), Heckenrosenweg 24, 3320 Salzgitter-Bad
- Pahlitzsch, Gotthold (19. 4. 1903), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Werkzeugmaschinen u. Fertigungstechnik, TU Braunschweig), Hermann-Riegel-Straße 15, 3300 Braunschweig
- Pestel, Eduard (29. 5. 1914), Dr.-Ing., D. Eng. h.c., Prof. (Mechanik, Universität Hannover), Alte Herrenhäuser Straße 10, 3000 Hannover
- Rögener, Heinz (20. 9. 1913), Dr. phil., Prof. em. (Thermodynamik, Universität Hannover), Callinstraße 36, 3000 Hannover
- Ruge, Jürgen (14. 5. 1921), Dr.-Ing., Prof. (Schweißtechnik und Werkstofftechnologie, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 18, 3300 Braunschweig
- Rummel, Theodor (30. 5. 1910), Dr.-Ing. habil., Prof. (Elektrowärme, Universität Hannover), Leerbichl-Allee 20, 8022 Grünwald

- Schönfelder, Helmut (3.4.1926), Dr.-Ing., Prof. (Nachrichtentechnik, TU Braunschweig), Liegnitzer Straße 22, 3340 Wolfenbüttel
- Schwerdtfeger, Klaus (16.9.1934), Dr.-Ing., Prof. (Allgemeine Metallurgie, TU Clausthal), Claustorwall 10, 3380 Goslar
- Thoma, Manfred (24.2.1929), Dr.-Ing., Prof. (Regelungstechnik, Universität Hannover), Westermannweg 7, 3000 Hannover 21
- Tönshoff, Hans Kurt (14.5.1934), Dr.-Ing., o. Prof. u. Dir. (Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen, Technische Universität Hannover), Bruchholz-wiesen 10, 3006 Burgwedel 1
- Unger, Hans-Georg (14.9.1926), Dr.-Ing., Dr. h.c., Prof. (Hochfrequenztechnik, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 10, 3300 Braunschweig
- Weh, Herbert (1.3.1928), Dr.-Ing., Prof. (Starkstromtechnik, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 20, 3300 Braunschweig
- von Zabeltitz, Christian (7.8.1932), Dr.-Ing., Prof. u. Dir. (Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover), Hellwiesen 3, 3302 Wedemark (Meitze)

Korrespondierende Mitglieder:

- Beneking, Heinz, Dr. rer. nat., Prof. u. Dir. (Halbleitertechnik, Technische Hochschule Aachen), Templergraben 55, 5100 Aachen
- Bosnjaković, Fran, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Dr. h.c., Prof. em. (Thermodynamik der Luft- und Raumfahrt), Umgelterweg 17D, 7000 Stuttgart 1
- Bosch, Firmin-Maurits, Dr. ir., Prof. u. Dir. (Chemie), Laboratorium voor Anorg. Techn. Chemie, Zwijnaarde/Belgien, Ketelpoort 5, B-9000 Gent/Belgien
- Busemann, Adolf, Dr.-Ing., Dr. rer. nat. E.h., Prof. em. (Aerodynamik), 970 Lincoln Place, Boulder/Colorado 80302/USA
- Gersten, Klaus, Dr.-Ing., Prof. (Thermo- und Fluidodynamik), Buscheystraße 1C, 4630 Bochum-Querenburg, Ruhr-Universität
- Görtler, Henry, Dr. phil. habil., LL. D. h.c., Prof. em. (Angewandte Mathematik), Sonnhalde 90, 7800 Freiburg
- Grigull, Ulrich, Dr.-Ing., Prof. (Maschinenbau), Präsident der Technischen Universität München, Arcisstraße 2, 8000 München 2, TU
- Hausen, Helmuth, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Thermodynamik und Verfahrenstechnik), Wohnstift Augustinum Taunus, Appt. 443, Sodener Waldweg 2, 6232 Bad Soden II
- Illies, Kurt, Dr.-Ing., Prof. em. (Schiffsmaschinen), Babendiekstraße 20, 2000 Hamburg 55
- Kröner, Ekkehart, Dr. rer. nat., Prof. (Theoretische Physik), Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 57 VI, 7000 Stuttgart 80
- Krüger, Gerhard, Dr.-Ing., Prof. (Wirtschaftswissenschaften), Südliche Hildapromenade 9, 7500 Karlsruhe 1
- Mayinger, Franz, Dr.-Ing., Prof. (Verfahrenstechnik), Lehrstuhl A für Thermodynamik der TU München, Arcisstraße 21, 8000 München 2

- Schlitt, Herbert, Dr. phil. nat., Prof. (Regelungstechnik), Egerlandstraße 5, 8520 Erlangen, Universität Erlangen-Nürnberg
- Strutt, M.J.O., Dr. techn., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Höhere Elektrotechnik), Krähbühlstraße 79, CH-8044 Zürich/Schweiz
- Truckenbrodt, Erich, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Strömungsmechanik), Arcisstraße 21, 8000 München 2, TU
- Wassermann, Günter, Dr. phil., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Metallkunde und Metallphysik, TU Clausthal), Am Silbersegen 8, 3392 Clausthal-Zellerfeld
- Wincierz, Peter, Dr.-Ing., Honorar-Prof. (Metallkunde), TU Clausthal, Hohenwaldstraße 29, 6374 Steinbach/Taunus

Klasse für Bauwissenschaften

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Justus Herrenberger (bis 31.12.1986)

Ordentliche Mitglieder:

- Billib, Herbert (21.10.1904), Dr.-Ing., Dr. nat. techn. h.c., Prof. em. (Wasserwirtschaft, Hydrologie, Landwirtschaftlicher Wasserbau, Universität Hannover), Franzbaderhof 9, 3000 Hannover 71
- Buchwald, Konrad (16.2.1914), Dr. phil. nat. habil., Prof. (Landespflege, Universität Hannover), Große Heide 3, 3000 Hannover 51
- Duddeck, Heinz (14.5.1928), Dr.-Ing., Prof. (Statik, TU Braunschweig), Greifswaldstraße 38, 3300 Braunschweig
- Esslinger, Maria (4.3.1913), Dr.-Ing., Prof. (Statik), Bussardweg 2, 3300 Braunschweig
- Gerke, Karl (10.8.1904), Dr.-Ing., Prof. em. (Geodäsie, TU Braunschweig), Spitzwegstraße 19, 3300 Braunschweig
- Hake, Günter (27.5.1922), Dr.-Ing., Prof. (Topographie und Kartographie, Universität Hannover), Börie 58, 3005 Hemmingen 1
- Henn, Walter (20.12.1912), Dr.-Ing., Dr. techn. h.c., Prof. em. (Baukonstruktionen und Industriebau, TU Braunschweig), Petritorwall 20, 3300 Braunschweig
- Herrenberger, Justus (27.5.1920), Dr.-Ing., Prof. (Baukonstruktion, TU Braunschweig), Ginsterweg 22, 3300 Braunschweig
- Hoeltje, Georg (16.3.1906), Dr. phil., Prof. em. (Bau- und Kunstgeschichte, Universität Hannover), Alte Herrenhäuser Straße 11c, 3000 Hannover 21
- Höpcke, Walter (19.8.1908), Dr.-Ing., Prof. em. (Allgemeine Vermessungskunde, Universität Hannover), Gerdingstraße 2A, 3000 Hannover 72
- Konecny, Gottfried (17.6.1930), Dr.-Ing., Prof. (Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Universität Hannover), Wartheweg 22, 3000 Hannover 73
- Kordina, Karl (7.8.1919), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Stahlbeton- und Massivbau, TU Braunschweig), Im Heidekamp 13, 3300 Braunschweig
- Lehmann, Gerhard (25.10.1907), Dr.-Ing., habil., Prof. em. (Photogrammetrie, Geodäsie, Universität Hannover), Eilenriedestift Haus A I/314, Bevenser Weg 10, 3000 Hannover 61

- Mecke, Wilhelm (12. 8. 1907), Dr.-Ing., Prof. em. (Straßenwesen und Erdbau, TU Braunschweig), Pascheburg-Ring 13, 3410 Northeim 1
- Möller, Dietrich (18. 2. 1927), Dr.-Ing., Prof. (Vermessungskunde, TU Braunschweig), Steinkamp 6, 3306 Lehre
- Natke, Hans Günther (9. 5. 1933), Dr. rer. nat., Prof. u. Dir. (Curt-Risch-Institut für Dynamik, Schall- und Meßtechnik, Universität Hannover), Pyrmonter Straße 51, 3000 Hannover 91
- Partenscky, Hans-Werner (3. 4. 1926), Dr.-Ing., Dr. phys., Prof. (Verkehrswasserbau und Küsteningenieurwesen, Universität Hannover), Wiehbergstraße 20, 3000 Hannover 81
- Pflüger, Alf (17. 7. 1912), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Statik, Universität Hannover), Bonatzweg 7, 3000 Hannover 71
- Pierick, Klaus (19. 2. 1928), Dr.-Ing., Prof. (Verkehr, Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung, TU Braunschweig), Am Uhlenbusch 31, 3300 Braunschweig
- Renard, Walter (12. 5. 1904), Dipl.-Ing., Prof. em. (Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover), Westermannweg 20, 3000 Hannover-Herrenhausen
- Rostásy, Ferdinand Stefan (4. 5. 1932), Dr.-Ing., Prof. (Baustoffe und Stahlbetonbau, TU Braunschweig), Nietzschestraße 26, 3300 Braunschweig
- Scheer, Joachim (5. 3. 1927), Dr.-Ing., Prof. (Stahlbau, TU Braunschweig), Wartheweg 20, 3000 Hannover 73
- Spengelin, Friedrich (29. 3. 1925), Dipl.-Ing., Prof. (Städtebau, Universität Hannover), Habichtshorst 12, 3000 Hannover
- Stein, Erwin (5. 7. 1931), Dr.-Ing., Prof. (Baumechanik, Universität Hannover), Am Ortfelde 124, 3004 Isernhagen 2 (NB)
- Stracke, Ferdinand (27. 5. 1935), Dipl.-Ing., Prof. u. Dir. (Städtebau, Wohnungswesen und Landschaftsplanung, TU Braunschweig), Wendentorwall 10, 3300 Braunschweig
- Torge, Wolfgang (4. 6. 1931), Dr.-Ing., Prof. (Theoretische Geodäsie, Universität Hannover), Mönchekamp 4A, 3000 Hannover 91
- Weimann, Günter (6. 6. 1921), Dr.-Ing., Prof. u. Dir. (Photogrammetrie und Kartographie, TU Braunschweig), Klaus-Groth-Weg 30, 3340 Wolfenbüttel
- Wierig, Hans-Joachim (22. 6. 1927), Dr.-Ing., Prof. (Baustoffkunde, Universität Hannover), Hindenburgallee 31, 3007 Gehrden
- Wortmann, Wilhelm (15. 3. 1897), Dipl.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Stadt- und Regionalplanung, Universität Hannover), Morgensternweg 10, 3000 Hannover 21

Korrespondierende Mitglieder:

- Bjerhammer, Arne, Tekn. Dr.-Ing., Prof. (Geodäsie), Kungl. Tekniska Högskolan, Royal Institute of Technology, Fack 10044, Stockholm 70 / Schweden
- Garbrecht, Günther, Dr.-Ing., Dr. sc. h.c., Prof. (Wasserbau, Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, TU Braunschweig), Drosselweg 15, 3301 Lagesbüttel

- Grabe, Walter, Dr.-Ing., Honorar-Prof. (Universität Hannover) und Dir. (Öffentl. Personennahverkehr), Hamburger Verkehrsverbund, Altstädter Straße 6, 2000 Hamburg 1
- Habekost, Heinrich, Dipl.-Ing., Prof. em. (Städtebau, Straßenbau, Tiefbau, TU Braunschweig), Drusenbergstraße 95, 4630 Bochum
- Hofmann, Wilhelm, Dr.-Ing., Prof. em. (Baukonstruktion und Entwerfen, Universität Hannover), Mayr-Graz-Weg 22, 8110 Murnau
- Kistenmacher, Hans, Dr. rer. pol., Prof. (Landesplanung und Raumforschung), Universität Kaiserslautern, Pfaffenbergstraße 95, 6750 Kaiserslautern
- Kracke, Rolf, Dr.-Ing., Prof. (Verkehrs- und Eisenbahnwesen, Universität Hannover), Buchenweg 4, 3003 Ronnenberg 3, OT Benthe
- Kraemer, Friedrich-Wilhelm, Dr.-Ing., Prof. em. (Architektur), Am Römerturm 3, 5000 Köln 1
- Moritz, Helmut, Dr. techn., Dr.-Ing. E. h., Prof. (Erdmessung und physikalische Geodäsie), Technische Universität Graz, Steyrergasse 17, A-8010 Graz/Österreich
- Müller, Leopold, Dr. techn., Dr. mont. h. c., Prof. (Felsmechanik), Universität Karlsruhe, Paracelsusstraße 2, A-5020 Salzburg/Österreich
- Pieper, Klaus, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., Prof. em. (Statik, TU Braunschweig), Ginsterweg 13, 3300 Braunschweig
- Triebel, Wolfgang, Dr.-Ing., Honorar-Prof. (Bauforschung), Max-Eyth-Straße 48, 3000 Hannover
- Wolf, Helmut, Dr.-Ing., Dr. sc. techn. h. c., Dr. phil. h. c., Dr. h. c., Prof. (Geodäsie), Am Sonnenhang 10, 5300 Bonn-Ippendorf
- Zerna, Wolfgang, Dr.-Ing., Prof. (Konstruktiver Ingenieurbau), Ruhr-Universität Bochum, Buscheystraße IC 4/54, 4630 Bochum-Querenburg

Klasse für Geisteswissenschaften

Vorsitzender: Prof. Dr. phil. Martin Gosebruch (bis 31.12.1989)

Ordentliche Mitglieder:

- Beuermann, Arnold (13.1.1924), Dr. phil., Prof. (Geographie, TU Braunschweig), Steinbrecherstraße 15, 3300 Braunschweig
- Boeder, Heribert (17.11.1928), Dr. phil., Prof. (Philosophie, TU Braunschweig), Theaterwall 18, 3300 Braunschweig
- Ehlers, Joachim (31.5.1936), Dr. phil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, TU Braunschweig), Sprottaustraße 1, 3300 Braunschweig
- Gosebruch, Martin (20.6.1919), Dr. phil., Prof. (Kunstgeschichte, TU Braunschweig), Gieselerwall 4, 3300 Braunschweig
- Henne, Helmut (5.4.1936), Dr. phil., Prof. (Germanistische Linguistik, TU Braunschweig), Hermann-Korb-Straße 66, 3340 Wolfenbüttel
- Kamp, Norbert (24.8.1927), Dr. phil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte; Präsident der Universität Göttingen), Leipziger Straße 236B, 3300 Braunschweig

- Killy, Walther (26.8.1917), Dr. phil., Prof. (Deutsche Literaturwissenschaften, Ernst-August-Bibliothek Wolfenbüttel), Adenauerweg 13, 3340 Wolfenbüttel-Ahlum
- König, Joseph (24.9.1915), Dr. phil., Archivdirektor a.D. (Geschichte), Paracelsusstraße 24, 3340 Wolfenbüttel
- Lohse, Eduard (19.2.1914), D. theol., Honorar-Prof. (Göttingen), Landesbischof (Theologie), Haarstraße 6, 3000 Hannover 1
- Maurach, Gregor (3.3.1932), Dr. phil., Prof. (Lateinische Philologie, TU Braunschweig), Geysstraße 7, 3300 Braunschweig
- Mohr, Hans-Heinrich (1.6.1917), Dr. rer. pol. (Versicherungswissenschaften), Am Bürgerpark 4a, 3300 Braunschweig
- Niquet, Franz (7.6.1910), Dr. phil., Oberarchäologe i.R. (Deutsche Archäologie), Am Roten Amte 13, 3340 Wolfenbüttel
- Oberbeck, Gerhard (5.10.1925), Dr. rer. nat., Prof. (Geographie und Wirtschaftsgeographie, Universität Hamburg), Ginsterweg 4, 2081 Ellerbek
- Oexle, Otto Gerhard (28.8.1939), Dr. phil., Prof. (Geschichte, Universität Hannover), Wiesenstraße 13, 3000 Hannover 1
- Olsen, Karl Heinrich (20.12.1908), Dr. rer. techn. habil., apl. Prof. entpfl., Ltd. Dir. i.R. (Agrarpolitik, Landwirtschaftliche Betriebslehre, Wirtschaftsgeographie), Saarstraße 3, 3300 Braunschweig
- Pöls, Werner (15.3.1926), Dr. phil., Prof. (Geschichte, TU Braunschweig), Herzogin-Elisabeth-Straße 6, 3300 Braunschweig
- Reuther, Hans (21.11.1920), Dr.-Ing., Dr. phil., Prof. (Architekturgeschichte, TU Berlin), Am Schäferhof 22, 3510 Hann. Münden 1
- Rosen, Edgar R. (18.6.1911), Dr. phil., Prof. em. (Politikwissenschaft, TU Braunschweig), Jasperallee 7, 3300 Braunschweig
- Schillemeit, Jost (18.2.1931), Dr. phil., Prof. (Deutsche Literaturwissenschaft, TU Braunschweig), Friedensallee 48, 3300 Braunschweig
- Thieme, Werner (13.10.1923), Dr. jur., Prof. (Verwaltungslehre, Universität Hamburg), Am Karpfenteich 58, 2000 Hamburg 63
- Thies, Harmen (26.12.1941), Dipl.-Ing., Dr. phil., Prof. (Baugeschichte, TU Braunschweig), Adolfstraße 55, 3300 Braunschweig
- Wilhelm, Herbert (8.6.1922), Dr. oec., Prof. (Volkswirtschaftslehre, TU Braunschweig), Hirschbergstraße 16, 3300 Braunschweig

Korrespondierende Mitglieder:

- Beumann, Helmut, Dr. phil. habil., Prof., (Mittelalterliche Geschichte, Historisches Institut, Universität Marburg), Am Glaskopf 7, 3350 Marburg/Lahn
- Burkert, Walter, Dr. phil., Prof. (Klassische Philologie), Universität Zürich, Wildsbergstraße 8, CH-8610 Uster/Zürich (Schweiz)
- Dörig, José, Dr. phil., Prof. (Archäologie, Universität Genf), 12, chemin des Manons, CH-1218 Grand Saconnex, Genf/Schweiz
- Elbern, Victor H., Dr. phil., Honorar-Prof., Freie Universität Berlin (Kunstgeschichte), Ilsesteinweg 42, 1000 Berlin 38

- Gaiser, Konrad, Dr. phil., Prof. (Klassische Philologie, Universität Tübingen), Leimgrube 3, 7401 Nehren
- Garrigues, Marie-Odile, Dr. phil., Prof. (Philosophie und Theologie), Via S. Domaso 49, J-00165 Rom/Italien
- Goetting, Hans, Dr. phil., Prof. (Historische Hilfswissenschaften, Universität Göttingen), Waitzweg 7, 3400 Göttingen
- Narkiss, Bezalel, Dr. phil., Prof. (Department of Art History u. Dir. des Index of Jewish Art, Hebrew University Jerusalem), The Hebrew University, Jerusalem, Israel
- Raupach, Hans, Dr. jur. habil., Prof. (Soziologie), Groffstraße 20, 8000 München 19
- Rosen, Stanley, Dr. phil., Prof. (Philosophie), Pennsylvania State University, 1256 South Garner Street, State College, Pennsylvania 16801 / USA
- Schnath, Georg, Dr. phil., Prof. (Nieders. Landesgeschichte), Wiesenstraße 16, 3000 Hannover
- Tsujimura, Koichi, Dr. phil., Prof. (Philosophie), Kaiserliche Universität Kyoto, Sakyoku, Kamitakano, Higashida-cho 12, J-606 Kyoto/Japan
- Voppel, Götz, Dr. rer. pol., Dipl.-Volkswirt (Wirtschafts- und Sozialgeographie), Wirtschafts- und Sozialgeographisches Institut der Universität zu Köln, Albertus-Magnus-Platz, 5000 Köln 41
- Zeitler, Rudolf, Dr. phil., Prof. (Kunstgeschichte), Universität Uppsala, Regngatan 16, S-75431 Uppsala/Schweden

